

Philipps



Universität
Marburg

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde

Abteilung für Zahnerhaltungskunde

(Direktor: Prof. Dr. R. Frankenberger)

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH,
Standort Marburg

Titel der Dissertation:

**„Vergleich zweier maschineller Nickel-Titan-Revisionssysteme
hinsichtlich der Revisionseffizienz von Wurzelkanalfüllungen in
ovalen Wurzelkanälen mit und ohne Einsatz des
Lösungsmittels Eukalyptol“**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin,
dem Fachbereich der Medizin der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Christin Kleye
aus Erfurt

Marburg, 2014

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
am: 03.07.2014

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. H. Schäfer

Referent: Prof. Dr. R. Frankenberger

1. Korreferent: Prof. Dr. M. Gente

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Ziel der Studie	3
3	Literaturübersicht	5
3.1	Grundlagen der Wurzelkanalbehandlung	5
3.2	Indikationen für eine Wurzelkanalbehandlung	5
3.3	Ablauf einer Wurzelkanalbehandlung	6
3.4	Wurzelkanalfüllmaterialien	8
3.5	Obturationstechniken	9
3.6	Ursachen endodontischer Misserfolge	9
4	Revision	10
4.1	Ziele der Revision	10
4.2	Indikationen für die orthograde Revision einer Wurzelkanalfüllung	11
4.3	Kontraindikationen für endodontische Revisionsbehandlungen	11
4.4	Vorgehen bei der endodontischen Revisionsbehandlung	12
4.5	Studienlage	16
4.6	Revisionseffizienz	17
5	Material und Methoden	22
5.1	Probenvorbereitung	22
5.2	Wurzelkanalfüllung der Proben	26
5.3	Revision	27
5.4	Durchführung von Vorversuchen mit Lösungsmittel	32
5.5	Durchführung von Vorversuchen ohne Lösungsmittel	32
5.6	Beurteilung der Ergebnisse	35
6	Ergebnisse	40
6.1	Vergleich der Revisionsdauer der einzelnen Gruppen	40

6.2	Vergleich der gruppenabhängigen Zeiten bis zum Erreichen der Arbeitslänge	41
6.3	Vergleich der benötigten Instrumentierungszeiten in den einzelnen Gruppen	41
6.4	Vergleich der gesamten Revisionsdauer der einzelnen Gruppen	41
6.5	Revisionszeiten für Schritt 2	41
6.6	Vergleich der verbliebenen Wurzelkanalfüllmaterialreste nach dem ersten Revisionsschritt	42
6.7	Vergleich der verbliebenen Wurzelkanalfüllmaterialreste nach dem zweiten Revisionsschritt	45
6.8	Vergleich der Revisionseffizienz nach dem ersten und zweiten Revisionsschritt	48
7	Diskussion	49
7.1	Diskussion der Methodik	49
7.2	Diskussion der Ergebnisse Revisionsschritt 1	55
7.3	Diskussion der Ergebnisse Revisionsschritt 2	58
8	Schlussfolgerung	61
9	Zusammenfassung	62
9.1	Hintergrund und Ziele	62
9.2	Methoden	62
9.3	Ergebnisse	63
9.4	Praktische Schlussfolgerungen	63
10	Summary	65
10.1	Aim and Background	65
10.2	Methods	65
10.3	Results	66
10.4	Conclusion	66
11	Literatur	67

12	Anhang	79
12.1	Abkürzungen	79
12.2	Materialien	80
12.3	Abbildungsverzeichnis	84
12.4	Statistik	86
12.6	Verzeichnis akademischer Lehrer	89
12.7	Danksagung	90

1 Einleitung

Trotz intensiver Forschung auf dem Gebiet der dentalen Implantologie und einer Vielfalt an prothetischen Rekonstruktionsoptionen, gibt es auch beim heutigen Stand der Wissenschaft noch keine Möglichkeit, einen Zahnverlust in funktioneller und ästhetischer Hinsicht artifiziell vollwertig zu ersetzen. Infolge dessen stehen aktuell mittels konservierender Therapie angestrebte Erhaltungsversuche auch stark destrukturierter Zähne zunehmend im Fokus wissenschaftlicher Bemühungen, um somit eine Zahnextraktion als ultima ratio möglichst lange zu vermeiden. Mittel der Wahl zur Erhaltung avitaler Zähne ist die Wurzelkanalbehandlung, beziehungsweise bei postoperativer Beschwerdepersistenz die Wurzelkanalrevision. Insbesondere die konventionelle, orthograde Revision stellt aufgrund eines relativ günstigen Nutzen-Risiko-Verhältnisses mit vergleichsweise geringer Invasivität und somit geringer Beeinträchtigung des Patienten, sowie vor allem bei primärer Revision prognostisch guten Erfolgsraten einen klinischen Interessenschwerpunkt dar (Hülsmann *et al.* 2001, Torabinejad *et al.* 2009). Das Procedere erfordert die Entfernung der aktuellen Füllung, die weitere Instrumentation und Aufbereitung, die Desinfektion sowie die erneute Füllung des Wurzelkanals (Stabholz und Friedmann 1988). Obwohl eine direkte Korrelation zwischen kompletter Reinigung des Wurzelkanals und Erfolg der Revision, beziehungsweise zwischen verbliebenen Wurzelfüllresten und Misserfolg der Revision noch nicht nachgewiesen werden konnte, gilt die möglichst vollständige Guttapercha- und Sealerentfernung als essentiell, um verbliebenes nekrotisches Gewebe oder für die Beschwerdepersistenz verantwortliche Bakterien freizulegen und einer chemo-mechanischen Reinigung zugänglich zu machen (Bergenholtz *et al.* 1979 a).

Zur Revision von Wurzelkanälen steht eine Vielzahl von Techniken zur Auswahl. Die Reinigungsmöglichkeiten umfassen unter anderem Handfeilen, erhitzte Instrumente (Heat-Carrier), Ultraschallsysteme, Laser, rotierende Feilensysteme, verschiedene Lösungsmittel und verschiedenste Kombinationen dieser Methoden. Um eine möglichst gründliche Reinigung des Kanals von Wurzelfüllmaterialien zu erreichen, wird eine intentionelle Erhöhung der Aufbereitungsgröße um zwei ISO-Größen über die AMF (Apikale Masterfeile) der Erstaufbereitung empfohlen (Roggendorf *et al.* 2010). Dies geht jedoch mit einer zunehmenden Wurzelschwächung und vor allem in ovalen Kanälen auch mit einer erhöhten Perforationsgefahr einher. Nur sehr wenige Studien haben bisher die Revision explizit ovaler Wurzelkanäle untersucht (Zmener *et al.* 2006, Ma *et al.* 2012). Die Anatomie ovaler Kanäle stellt jedoch besondere Anforderungen an die Aufbereitungstechnik, da vor allem die bukkalen und oralen Kanalanteile zumeist

schwer zugänglich sind (De-Deus *et al.* 2011). Als adäquate Revisionsmethoden stehen hierfür unter anderem das zirkumferrente Feilen, wiederum der Einsatz von Lösungsmittel, der Einsatz von Schall, Ultraschall und Vibration sowie die Self-adjusting File (SAF) zur Verfügung. Ob der Einsatz von Lösungsmittel hilfreich ist oder nicht, wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Im Mittelpunkt dieser Studie soll daher die Revision ovaler Wurzelkanäle mit vollrotierenden Revisionsfeilen mit und ohne Einsatz von Lösungsmittel stehen und nach einer praxisfähigen Alternative zur intentionellen größeren Aufbereitung gesucht werden, um die Revisionsergebnisse ohne weitere Reduktion der Wurzelsubstanz zusätzlich optimieren zu können.

2 Ziel der Studie

Das Ziel der Studie war der Vergleich der beiden maschinellen Revisionssysteme *M_{two}-Retreatment Files* und *D-RaCe* mit anschließender Instrumentierung bis zur initialen Aufbereitungsgröße .04/#40 in ovalen Kanälen. Vergleichskriterien waren dabei die benötigten Revisionszeiten „Erreichen der Arbeitslänge“, „Instrumentierungszeit“ und „Gesamtrevisionsdauer“, sowie die Revisionseffizienz. Letztere wurde für beide Systeme mit und ohne Lösungsmittel, sowie nach anschließendem Einsatz einer experimentellen Aktivierungsmethode anhand der in den einzelnen Kanaldritteln auf den Kanalwänden prozentual verbliebenen Füllmaterialreste ermittelt.

Die experimentelle endodontale Aktivierung erfolgte in Abhängigkeit vom Einsatz eines Lösungsmittels während des ersten Revisionsschrittes ebenfalls mit oder ohne Eukalyptusöl. Die abschließend erneute Ermittlung von Sealer- und Guttapercharesten auf den Wurzelkanalwänden sollte zeigen, ob die experimentelle endodontale Aktivierungsmethode eine vergleichbar effiziente alternative Therapieoption zu der in vorangegangenen Studien propagierten intentionellen größeren Aufbereitung darstellen kann.

Letztlich war das Hauptziel der vorliegenden Studie, verschiedene Revisionsmethoden hinsichtlich der erforderlichen Revisionszeiten und der erzielten Sauberkeit der Wurzelkanäle als Ausdruck der Effizienz vergleichend zu beurteilen.

Im Rahmen dieser Studie sollen die folgenden Arbeitshypothesen überprüft werden:

Arbeitshypothese # 1:

„Die Wurzelfüllrevision zeigt mit allen Techniken eine vollständige Entfernung des Wurzelfüllmaterials.“

Arbeitshypothese # 2:

„Die Revisionseffizienz zeigt keine Unterschiede zwischen den einzelnen Revisions-techniken.“

Arbeitshypothese # 3:

„Die Revisionsdauer ist unabhängig vom Einsatz eines Lösungsmittels.“

Arbeitshypothese # 4:

„Der Einsatz von Lösungsmitteln führt zu keiner Erhöhung der Revisionseffizienz.“

3 Literaturübersicht

3.1 Grundlagen der Wurzelkanalbehandlung

Die Endodontologie ist die Wissenschaft von Form, Funktion und Gesundheit der Zahnpulpa, der Zahnwurzeln und der den Zahn umgebenden Gewebe, dem Parodontium. In diesem Zusammenhang beschäftigt sich die Endodontologie mit Verletzungen, Erkrankungen und entsprechenden Therapiemaßnahmen zur Erhaltung der zuvor genannten Strukturen. Bei fortgeschrittener Erkrankung mit vollständiger oder partieller Nichterhaltungsfähigkeit der Gewebe besteht das Behandlungsziel entsprechend des Konsensberichts der Europäischen Gesellschaft für Endodontologie in der Restitution eines funktionsfähigen Zustands. Konventionell wird dieses Ziel mit Hilfe einer Wurzelkanalbehandlung oder gegebenenfalls auch durch eine operative Behandlung erreicht.

3.2 Indikationen für eine Wurzelkanalbehandlung

Die häufigste Indikation für eine Wurzelkanalbehandlung stellt eine irreversible Pulpitis dar, welche durch eine beliebige, chronische oder akute Traumatisierung der peripulpalen Gewebe mit darauf folgender Infektion des Endodonts ausgelöst werden kann.

Als Folge der Pulpainfektion kann es zur Pulpanekrose mit Verlust der endodontalen Integrität und konsekutiv fortschreitender Ausbreitung der pulpalen Entzündung auf das gesamte Pulpenkavum, sowie darüber hinaus auf das periradikuläre Gewebe mit Ausbildung einer Parodontitis apicalis kommen. Bei klinisch variabler Symptomatik ist die entzündungsbedingte ossäre Demineralisation radiologisch als Aufhellung im Bereich der Wurzelspitze diagnostizierbar. Im Pulpenkavum ist die Keimzahl dennoch deutlich höher als in den periapikalen Geweben.

Als wichtigstes Behandlungsprinzip ist daher die Eliminierung der endodontischen Infektion zu verfolgen, sowie die Beseitigung der dentalen Hartsubstanzläsion, über welche eine Kommunikation zwischen Pulpenkavum und den Bakterien der Mundflora ermöglicht und somit die endodontische Infektion unterhalten wird.

Diverse Untersuchungen bezüglich Form und Funktion des Wurzelkanals haben seine enorme Komplexität beschrieben. Es konnte gezeigt werden, dass es sich um ein

verzweigtes System von Pulpakavum, Haupt-, Seiten- sowie lateralen Kanälen mit Verbindung zum Parodont oder akzessorischen Kanälen in Form multipler Ramifikationen vor allem des unteren Wurzeldrittels handelt. Aufgrund der diffizilen Anatomie ist das Erreichen steriler Verhältnisse im Kanalsystem nicht realistisch, jedoch ist durch eine Behandlung unter aseptischen Bedingungen eine Keimreduktion um den Faktor 500 bis 1000 erzielbar (Haapasalo *et al.* 1987, Dahlen *et al.* 2003).

In diesem Sinne sollte jede Wurzelkanalbehandlung unter Einsatz von Kofferdam und antimikrobiellen Spülungen durchgeführt werden (Wissenschaftliche Stellungnahme der DGZMK zu der Wurzelkanalaufbereitung).

Das anschließende Einbringen von Füllungsmaterialien soll den Wiederbefall des Wurzelkanals verhindern und den natürlichen Selbstheilungsprozess fördern.

3.3 Ablauf einer Wurzelkanalbehandlung

3.3.1 Trepanation

Der Zugang zum Pulpenkavum des jeweiligen, zuvor anästhesierten, Zahnes erfolgt mit Hilfe einer Trepanation von koronal unter Anlage eines Kofferdams. Die Kavitätenpräparation richtet sich dabei zumindest initial nach der statistisch zu erwartenden Anatomie des Pulpenkavums und der Lage der Wurzelkanaleingänge und wird gegebenenfalls bei sichtbaren numerischen oder Lagevariationen intraoperativ korrigiert.

3.3.2 Instrumentierung

Das Ziel der Wurzelkanalaufbereitung ist die Befreiung und Säuberung des Kanals von Pulparesten, Bakterien und nekrotischen Geweben sowie die Schaffung einer Form, die die Füllung des gesamten Kanals mit einem biologisch inerten Material erlaubt. Dieses sogenannte „cleaning and shaping“ stellt einen entscheidenden Faktor für den Behandlungserfolg dar (Schilder 1974).

Die Aufbereitung soll dabei bis zur engsten Stelle des Wurzelkanals, dem Foramen physiologicum, reichen, da dann die Erfolgsaussichten am größten sind (Smith *et al.* 1993). Diese apikale Konstriktion stellt somit den endodontischen Apex dar. Auf dem Röntgenbild, der üblichen visuellen Kontrollmaßnahme, ist jedoch ausschließlich der röntgenologische Apex exakt definierbar und somit als Referenzpunkt für die

Bestimmung der Arbeitslänge anwendbar. Multiple Messungen haben ergeben, dass der endodontische Apex ca. 1 mm koronal des radiologischen Apex liegt und somit indirekt als angestrebte apikale Begrenzung lokalisiert werden kann. Eine Langzeitstudie von Sjögren *et al.* (1990) zeigte eine 94%ige Erfolgsrate unter Zähnen mit einer radiologisch sichtbaren periapikalen Ramifikation, wenn die durchgeführte Wurzelkanalfüllung maximal 2 mm vor dem radiologischen Apex endete. Die Erfolgsrate sank auf 68%, sobald die Distanz zwischen apikalem Ende der Wurzelkanalfüllung und radiologischem Apex 2 mm überschritt.

Es gibt eine Vielzahl verschiedener Aufbereitungstechniken. Prinzipiell lassen sich die manuelle Aufbereitung mit Hilfe von Handinstrumenten und die maschinelle Aufbereitungstechnik mit Hilfe vollrotierender, hochflexibler Nickel-Titan-Systeme in Kombination mit drehzahl- sowie drehmomentbegrenzten Mikromotoren unterscheiden (Wissenschaftliche Stellungnahme der DGZMK zur Wurzelkanalaufbereitung 2000).

3.3.3 Spülung

Im Anschluss an die Instrumentierung des Wurzelkanals erfolgt eine erneute ausgiebige Spülung. Bewährt haben sich in diesem Zusammenhang unter anderem NaOCl, CHX und H₂O₂ als desinfizierende Spüllösungen, sowie EDTA und Zitronensäure zur Entfernung der Schmierschicht. Das reine Ausschwemmen von Dentinspänen oder Füllungsresten kann mit Hilfe einer physiologischen NaCl-Lösung erfolgen. Abschließend kann unmittelbar vor der Wurzelkanalfüllung Alkohol zur Kanaltrocknung appliziert werden.

3.3.4 Trocknung

Die Trocknung der aufbereiteten und gereinigten Kanäle erfolgt anschließend mit ISO-genormten Papierspitzen. Die entsprechende ISO-Größe der Papierspitze ist dabei abhängig von der ISO-Größe der jeweiligen AMF (Apikale Masterfeile).

3.3.5 Wurzelkanalfüllung

Nach der Aufbereitung des Wurzelkanals erfolgt die möglichst komplette und dichte Füllung des Kanals mit einem inerten Wurzelfüllmaterial, um eine Reinfektion des

Kanals durch Übertreten von Mikroorganismen aus der Mundhöhle zu verhindern, sowie residuale Mikroorganismen im Kanalsystem zu isolieren und durch Unterbindung des Nahrungsmittelzuflusses deren Wachstum und Vermehrung zu vermeiden. Des Weiteren soll das Risiko von bakteriellen Migrationsbewegungen oder Flüssigkeitsaustritten aus den parodontalen Taschen in den endodontalen Raum minimiert werden. Zur bestmöglichen Umsetzung dieser Ziele sollte die Wurzelkanalfüllung von koronal nach apikal vollständig sein. Verschiedenen retrospektiven Studien zufolge zeigten Wurzelkanalaufbereitungen und entsprechend anschließende -füllungen mit apikalem Endpunkt 0-2 mm oberhalb des röntgenologischen Apex die besten Ergebnisse (Hasselgren *et al.* 1994, Gutmann *et al.* 2002, Molander *et al.* 2003, Chandra *et al.* 2009).

3.4 Wurzelkanalfüllmaterialien

Entsprechend der von Grossmann postulierten Empfehlungen für ein ideales Wurzelkanalfüllmaterial sollten die eingesetzten Materialien nicht resorbierbar, leicht applizierbar, langsam erhärtend, biokompatibel, bakterizid oder bakteriostatisch, steril bzw. sterilisierbar, nicht porös, wandständig, volumenbeständig und röntgenopak sein. Zudem sollen sie den Zahn nicht verfärben und im Falle einer Revision auch leicht entfernbar sein.

Als definitive Wurzelkanalfüllung hat sich Guttapercha in Kombination mit einer erhärtenden Wurzelkanalfüllpaste, einem sogenannter Sealer, z.B. *AH Plus*, etabliert. Guttapercha ist ein aus dem eingedickten Saft des malaiischen Guttaperchabaumes (*Palaquium gutta*) gewonnenes Naturprodukt, welches chemisch dem Naturkautschuk ähnelt. Entsprechend der Kanalaufbereitung sind die Guttaperchapoints in verschiedenen ISO-Größen und unterschiedlichen Konizitäten erhältlich.

Der Sealer dient dem Haftverbund zwischen den Guttaperchapoints und der Kanalwand und soll den Raum zwischen den Guttaperchapoints und der Kanalwand ausfüllen und abdichten. Die heutigen Sealer lassen sich in Abhängigkeit von ihrer Zusammensetzung in Gruppen einteilen: Zinkoxid-Eugenol-Sealer, Epoxidharze, Calcium-Salicylate, Komposite sowie Silikone. Der in der vorliegenden Studie verwendete Sealer *AH Plus* wird derzeit von der DGZMK empfohlen (Stellungnahme der DGZMK: WK-Füllpasten und -füllstifte 2000). *AH Plus* ist ein Zwei-Pasten-System, dessen Härtungsreaktion auf einer Epoxid-Amin-Additionspolymerisation basiert. Die Aushärtungszeit unter Mundbedingungen beträgt ca. vier Stunden.

3.5 Obturationstechniken

In Abhängigkeit von der Temperatur der Guttapercha während der Wurzelkanalfüllung unterscheidet man die Kalt- und die Warmfülltechniken.

Zu den Kaltfülltechniken mit Guttapercha gehören die Einstifttechnik (Single-cone-Technik) und die laterale Kompaktion, sowie die Non-compaction-Technik als Sonderform der lateralen Kompaktion. Die warme vertikale Kompaktion, sowie Unterformen dieser Technik (diverse Hybridtechniken) und die thermoplastische Wurzelfüllung mit Trägersystemen hingegen zählt man zu den Warm- oder Heißfülltechniken.

3.6 Ursachen endodontischer Misserfolge

Epidemiologischen Studien aus Deutschland zufolge weisen mehr als 60% aller Wurzelfüllungen röntgenologisch Anzeichen einer Parodontitis apicalis auf und sind somit als Misserfolge zu klassifizieren. Die technische Qualität der Wurzelfüllung (Dichte, Länge, Homogenität) war ebenfalls in bis zu 60% der Fälle nicht zufriedenstellend (Hülsmann 1996). Kontrollierte und aussagekräftige Studien zur Erfolgssicherheit endodontischer Maßnahmen zeigen andererseits, dass die Erfolgsquote lege artis durchgeführter orthograde Wurzelkanalbehandlungen zwischen 80 und 90% liegt (Friedman 1998). In der aktuellen Literatur wird daher ein zunehmender Trend beschrieben, dem zufolge ein wesentlicher Anteil endodontischer Behandlungsmaßnahmen in der Revision technisch insuffizienter oder fehlgeschlagener Erstbehandlungen besteht.

Zu den wichtigsten Ursachen endodontischer Misserfolge und posttherapeutischer Erkrankungen gehören entsprechend der aktuellen Stellungnahme der DGZMK die Persistenz von Mikroorganismen nach der Initialbehandlung und nicht instrumentierte Wurzelkanäle beziehungsweise Wurzelkanalabschnitte. Mikroorganismen können nach der Obturation im Kanallumen persistieren (Sundqvist *et al.* 1998). Auch Dentintubuli können als Erregerreservoir dienen (Love und Jenkinson, 2002). Des Weiteren sind undichte koronale Restaurationen beziehungsweise eine koronale Mikroleakage mit Neuzutritt von Mikroorganismen oder Substrat zu nennen (Torabinejad *et al.* 1990). Auch Fremdkörperreaktionen oder extraradikuläre Infektionen können ursächlich für ein insuffizientes Ergebnis nach endodontischer Behandlung sein. Soweit möglich, sollte vor Indikationsstellung zur Revision eine exakte Diagnostik der Ursachen einer frustranen endodontischen Behandlung erfolgen und nichtendodontische Ätiologien einer periradikulären pathologischen Veränderung ausgeschlossen werden.

4 Revision

4.1 Ziele der Revision

Das Ziel einer Revisionsbehandlung liegt primär in der Ausheilung der periapikalen pathologischen Veränderung, beziehungsweise in der Prävention der Entstehung periapikaler Parodontitiden. Zu diesem Zwecke muss im Rahmen der Revisionsbehandlung die vollständige Entfernung des Wurzelfüllmaterials der Erstbehandlung mit anschließender kompletter Darstellung aller Wurzelkanäle bis zum Foramen physiologicum angestrebt werden. Nach intensiver Reinigung und Desinfektion, vorzugsweise mit NaOCl und Chlorhexidin, erfolgt abschließend die vollständige und bakteriendichte Obturation des endodontischen Systems unter Verbesserung der Qualität der Wurzelfüllung (DGZMK 2004).

Auch wenn das Ziel endodontischer Revisionen sich zunächst nicht prinzipiell von dem der Primärbehandlung mit Desinfektion und Formgebung des infizierten endodontischen Systems und anschließender bakteriendichter, dauerhafter Füllung der Wurzelkanäle unterscheidet, so weisen Revisionen doch eine Reihe von Besonderheiten auf. Insbesondere das Risiko von intraoperativen Zwischenfällen, z.B. Instrumentenfraktur, Stufenbildung, Begradigung, Perforation, Wurzellängsfraktur oder postoperativen Schmerzen (Flare-up) bis hin zum Zahnverlust ist höher als bei Initialbehandlungen. Der Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung zeigt sich klinisch in der Beschwerdefreiheit des Patienten, sowie radiologisch in einer vollständigen und dichten Füllung aller Wurzelkanäle mit dem Fehlen von Anzeichen einer Parodontitis apicalis, beziehungsweise in der Verkleinerung einer apikalen Läsion oder dem Stillstand einer Wurzelresorption.

Nach einem und nach vier Jahren sollte eine Erfolgskontrolle in Form einer Recall-Behandlung erfolgen. In Studien zum Langzeiterfolg von Wurzelkanalbehandlungen nach fünf, sechs oder zehn Jahren wurden als maßgebliche Erfolgskriterien die apikalen Verhältnisse vor der Wurzelkanalbehandlung, die Vitalität und Schmerzsymptomatik vor der Wurzelkanalbehandlung, das apikale Ende der Kanalaufbereitung und der Wurzelfüllung und die Kompaktion der Wurzelfüllung sowie die postendodontische koronale Restauration genannt (Bergenholtz *et al.* 1979 a und b, Farzaneh *et al.* 2004, De Chevigny *et al.* 2008).

Gorni und Gagliani (2004) zeigten des Weiteren, dass klinisch bessere Ergebnisse erzielt werden konnten, wenn die ursprüngliche Kanal Anatomie durch vorangegangene Behandlungen kaum verändert wurde und somit auch während einer

Revisionsbehandlung das gesamte Wurzelkanalsystem der chemomechanischen Reinigung zugänglich war.

4.2 Indikationen für die orthograde Revision einer Wurzelkanalfüllung

Die Indikationen für die Revision einer Wurzelkanalbehandlung sind vielfältig. Oft handelt es sich dabei um eine persistierende oder neu entstandene, endodontisch bedingte apikale Parodontitis im Bereich wurzelkanalbehandelter Zähne mit entweder klinischen oder radiologischen oder Symptomen beider Kategorien. Die klinische Symptomatik kann dabei unter anderem in einer Perkussions- oder Palpationsempfindlichkeit, sowie in Schwellungen oder Fistelbildungen im Wurzelbereich bestehen (Chong und Pitt Ford, 1996). Radiologisch zeigt sich häufig eine apikale Osteolyse im Sinne einer LEO, einer Lesion of Endodontic Origin (Nair 2002). Auch unvollständige Wurzelkanalfüllungen, beispielsweise in Form eines zusätzlichen, nicht instrumentierten Wurzelkanals können als ursächlich für die Beschwerden diagnostiziert werden (Cheung 1996).

Revisionsindikationen endodontisch behandelter Zähne ohne klinische oder radiologische Befunde sind vor allem beim Vorliegen mangelhafter Wurzelkanalfüllungen vor geplanten prothetischen Maßnahmen oder bei exponierten Wurzelkanalfüllungen gegeben. Als mangelhaft sind dabei vor allem inhomogene oder deutlich vor dem radiologischen Apex endende Wurzelkanalfüllungen zu betrachten. Auch bei persistierender Exposition der Wurzelkanalfüllung gegenüber dem intraoralen Milieu, zum Beispiel aufgrund einer insuffizienten Deckfüllung, einer so genannten Mikroleakage, besteht das Risiko einer massiven Keimbesiedelung des Wurzelkanals und ist somit eine Revisionsindikation gegeben (Saunders *et al.* 1994, DGZMK und der DGZ 2004).

Seltenere Ursachen für eine Wurzelkanalrevision sind zum Beispiel Silberstiftfüllungen bei der Notwendigkeit einer Stiftverankerung, Vitalamputation bleibender Zähne oder progressiv verlaufende, externe entzündliche Resorptionen.

4.3 Kontraindikationen für endodontische Revisionsbehandlungen

Kontraindikationen für die Einleitung einer Revisionsbehandlung liegen bei nicht-endodontischer Ätiologie der Beschwerden und bei fraglicher Erhaltungswürdigkeit des Zahnes vor. Des Weiteren ist eine endodontische Revision abzulehnen, wenn durch

diese keine Verbesserung des Ausgangszustandes zu erwarten ist und die Beseitigung der möglichen Ursache als unrealistisch eingeschätzt werden muss.

4.4 Vorgehen bei der endodontischen Revisionsbehandlung

4.4.1 Methoden der Revision

Grundsätzlich unterscheidet man die zwei Methoden der konservativ-endodontischen oder orthograden Revision einerseits von der chirurgisch-endodontischen oder retrograden Revision andererseits. Das konservativ-endodontische Vorgehen ist aufgrund der geringeren Invasivität schonender für den Patienten und stellt somit bei primärer Revision wurzelkanalgefüllter Zähne die Methode der Wahl dar (Hülsmann *et al.* 2001). Während die chirurgisch-endodontische Revision initial eine sehr hohe Erfolgsrate aufweist (nach zwei bis vier Jahren 77,8 %), ist jedoch der Langzeiterfolg bei der orthograden Revision (nach vier bis sechs Jahren 83 %) höher (Torabinejad *et al.* 2009). Auch die klinische Studie von Salehrabi und Rotstein bestätigt mit 89% eine sehr hohe Erfolgsrate der orthograden Revision nach fünf Jahren (Salehrabi et Rotstein 2010).

4.4.2 Trepanation und Zugangskavität

Die primäre Zugangskavität wird im Rahmen einer konservativ-endodontischen Revisionsbehandlung mit dem Ziel der Übersichtsoptimierung meist größer angelegt, da die anatomischen Zeichnungen des Pulpenkammerbodens häufig nur schwer zu erkennen sind.

Bei der Revision gilt: Der Zugang zum Zahn entscheidet über den Erfolg der Behandlung.

Bei der Anlage der sekundären Zugangskavität, der Hauptkanäle, ist eine eventuelle Verlagerung des Kanaleingangs in Richtung der Furkation mit möglicher Schwächung der verbliebenen Wurzelwand durch die Erstbehandlung zu bedenken.

4.4.3 Entfernung von GP

Der Schwierigkeitsgrad der Entfernung einer lateral oder vertikal kondensierten Guttaperchafüllung hängt hauptsächlich vom Aufbereitungsdurchmesser der Erstbehandlung und der Dichte der Füllmasse ab.

Die konservativ-endodontische Revision der Wurzelkanalfüllung kann, ebenso wie die initiale mechanische Aufbereitung des Wurzelkanals, manuell oder maschinell erfolgen.

Manuelle Aufbereitung

Für die manuelle Aufbereitung und Revision von Wurzelkanälen stehen verschiedene Handinstrumente zur Verfügung. Zur leichteren optischen Instrumentenauswahl erfolgte eine Farbcodierung der verschiedenen Instrumente entsprechend der ISO-Normierung hinsichtlich ihrer Größe und Konizität (2%), wobei die Farbcodierung mittlerweile nicht mehr regelmäßig der ISO-Norm folgt, sondern beispielsweise bei größer konischen Instrumenten lediglich deren apikale Größe klassifiziert.

Unterschieden werden unter anderem Wurzelkanalbohrer (WK-Bohrer), Kerr-Feilen (K-Feilen), Hedström-Feilen (H-Feilen), K-Reamer, C-Pilot-Feilen, Exstirpationsnadeln und Edelstahlinstrumente mit erhöhter Flexibilität, zum Beispiel Flexicut-Feilen, FlexoFiles, K-Flex-Feilen und FlexoReamer. Die einzelnen Instrumente werden durch ihre Querschnittsprofile sowie ihren Schneidewinkel charakterisiert, was eine jeweils individuelle Handhabung im Sinne von vornehmlich drehenden, ziehenden oder linear feilenden Bewegungen erfordert. Die am häufigsten angewandte manuelle Aufbereitungstechnik ist dabei die sogenannte Step-back-Technik.

Ein großer Vorteil von Handinstrumenten gegenüber maschinellen Aufbereitungssystemen ist ihre gute Taktilität im Bereich des Kanalverlaufs und vor allem der apikalen Konstriktion mit entsprechend gut kontrollierbarer Dosierung der während der Aufbereitung angewandten Kräfte. Als nachteilig gilt die werkstoffkundlich bedingte mangelnde Flexibilität der klassischen Edelstahlfeilen, wodurch es bei unzureichendem Vorbiegen vor allem in gekrümmten Kanälen zu Stufenbildung, Kanalverlagerung oder Perforation kommen kann.

Maschinelle Aufbereitung

Die Einführung von maschinellen Aufbereitungssystemen aus Nickel-Titan (NiTi) vor 20 Jahren bedeutete für die moderne Endodontie einen Innovationsschub und ermöglichte auf Grund der besonderen Materialeigenschaften der vollrotierenden, hochflexiblen NiTi-Feilen eine signifikante Verbesserung der Aufbereitungsqualität. Neben einer deutlichen Zeitersparnis gegenüber der meist langwierigen manuellen Aufbereitung werden in der Literatur vor allem in gekrümmten Wurzelkanälen eine geringere Obliterationsgefahr und anatomisch besser angepasste Kanalausformungen mit Nickel-Titan-Systemen beschrieben. Ursächlich hierfür sind die günstigeren Werkstoffeigenschaften der hochelastischen Nickel-Titan-Instrumente, deren Basis eine Legierung aus 55 m% Nickel und 45 m% Titan ist.

Diese Materialzusammensetzung verleiht den Feilen ein geringeres Biegemoment, eine größere Torsionsfestigkeit und eine Pseudoelastizität. Das auf der speziellen Gestalt des Kristallgitters basierende Formgedächtnis („shape memory“ oder „Memory Effekt“) erlaubt reversible Deformationen der Instrumente mit anschließender Rückstellung in ihre Ausgangsgestalt, wodurch die Aufbereitung gekrümmter Kanäle ermöglicht wird.

Zu beachten ist jedoch, dass somit auch Anzeichen von Materialschwächungen im Sinne von Deformationen oder Verwindungen der Feilen, wie sie typischerweise bei Stahlinstrumenten auftreten, verschleiert werden. Aus frakturprophylaktischen Gründen ist somit der Antrieb der NiTi-Feilen über einen Mikromotor mit Drehzahl- und Drehmomentbegrenzung obligat.

Die meisten NiTi-Feilen arbeiten mit einer Rotationsbewegung von 360°. Speziell für die Revision konzipierte Revisionsfeilen werden dabei meist gefolgt von den normalen Aufbereitungsfeilen eingesetzt. Mittlerweile gibt es eine sehr große Auswahl an maschinellen Aufbereitungssystemen mit verschiedenen Eigenschaften und Indikationsgebieten.

Passive NiTi-Systeme als Feilensysteme der ersten NiTi-Generation sind gekennzeichnet durch einen U-förmigen Instrumentenquerschnitt, eine passive Spitze und breite, kufenartige, Führungsflächen an den Schneidekanten, die sogenannten Radial lands. Diese Designmerkmale ermöglichen eine gute Zentrierung der Instrumente im Wurzelkanal und führen in Kombination mit den oben beschriebenen Werkstoffeigenschaften der NiTi-Feilen zu einem reduzierten Schraubeneffekt und somit zu einer signifikant geringeren Kanalverlagerung bei der Aufbereitung gekrümmter Kanäle im Vergleich zu Stahlinstrumenten. Die relativ große resultierende Kontaktfläche zwischen den Feilen und der Kanalwand führt jedoch zu einem hohen

Reibungswiderstand und einer starken Materialbelastung durch Torsion. Ebenfalls ungünstig sind die Entwicklung von Reibungswärme und eine deutlichere Schmierschichtbildung (Smear layer). Die Aufbereitungstechnik der Wahl ist die Crown-down-pressureless-Technik. Ein typischer Vertreter dieser NiTi-Generation sind *ProFile* (Fa. Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz).

Um die friktionsbedingten Nachteile der passiven Systeme zu reduzieren, wurden aktiv schneidende Instrumente mit kleineren Kontaktflächen zur Kanalwand und ohne Radial lands entwickelt. Die damit ebenfalls fehlenden Führungsflächen und die nun aktiv schneidenden Spiralkanten der Feilen sind verantwortlich für die Tendenz zur Dezentrierung bei der Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle. Über verschiedene Modifikationen des Designs wurde versucht, den Einschraubeffekt auf Grund der fehlenden Radial lands zu kompensieren. Hierzu gehören ein alternierendes Schneidekantendesign mit einer Erhöhung der Instrumentenflexibilität, Veränderungen des Schneidekantenwinkels, variable Konizitäten innerhalb eines Instruments und verschiedene Konizitäten innerhalb der Feilensequenz.

Das 1999 vorgestellte *RaCe*-System (*RaCe* = reamer with alternating cutting edges; Fa. FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Schweiz) hatte erstmals eine von dem klassischen „Schraubendesign“ abweichende Schneidekantengestaltung. Durch einen Wechsel zwischen schräg und nahezu axial verlaufenden Schneidekanten entstand ein symmetrisches Dreikantinstrument, welches eine optimale Kontrolle während der Instrumentierung ermöglichte und keinen Einschraubeffekt zeigte. Das System wurde für die Crown-down-Technik konzipiert und wies erstmals eine elektrochemische Oberflächenpolitur auf und somit keine herstellungsbedingten Frässpuren. Dies hatte eine signifikante Reduktion der zyklischen Ermüdungsbrüche zur Folge.

Das nachfolgende *BioRaCe*-System, welches ebenfalls die Vorteile der elektrochemischen Oberflächenvergütung aufweist, wird in der Single-length-Technik eingesetzt. Die Reduktion der Kontaktzonen des Instruments zur Kanalwand erfolgt bei diesem speziellen Feilensystem dadurch, dass jedes *BioRaCe*-Instrument nur in einem gewissen Kanalabschnitt arbeitet. Daher muss das Drehmoment (auch als Torque bezeichnet) sehr gering gehalten werden.

Das M_{two} -System war das erste Feilensystem, welches für die Single-length-Technik designt wurde. Diese Technik scheint insbesondere in stärker gekrümmten Wurzelkanälen vorteilhaft hinsichtlich der Feilenzentrierung zu sein, da bereits die erste Feile bis auf Arbeitslänge eingebracht wird. Durch die somit gewährleistete Führungsfunktion für die Instrumentenspitzen der folgenden Feilen kann eine Kanalverlagerung reduziert werden. Diese Aufbereitungstechnik wird im M_{two} -System über verschiedene Konizitäten innerhalb der Feilensequenz ermöglicht, sowie durch

einen sich von apikal nach koronal hin progressiv vergrößernden Schneidenabstand. Die S-förmige, zweischneidige Geometrie erzeugt zudem einen großen Spanraum und eine geringe Kontaktfläche zur Kanalwand.

4.5 Studienlage

Es liegen bereits zahlreiche Studien zu Revisionen von Wurzelkanalfüllungen vor. Zumeist erfolgte die initiale Wurzelfüllung hierbei mittels in lateraler Kompaktionstechnik eingebrachter Guttaperchapoints in Kombination mit einem Sealer (Baldassari-Cruz et Wilcox 1999, Zmener *et al.* 2006, De Oliveira *et al.* 2006, Barletta *et al.* 2007, Barletta *et al.* 2008, Dall'Agnol *et al.* 2008, Horvath *et al.* 2009, Chauhan *et al.* 2012). Die anschließende Revision der Füllungen erfolgte unter Anwendung verschiedenster Methoden, wie dem Einsatz von Handfeilen, erhitzten Instrumenten (Heat-Carrier), Ultraschallsystemen, Laser, rotierenden Feilensystemen, verschiedenen Lösungsmitteln und diversen Kombinationen dieser Techniken (Zakariasen *et al.* 1990, Ladley *et al.* 1991, Friedman *et al.* 1992, Hülsmann *et al.* 1997, Baratto Filho *et al.* 2002, Marfisi *et al.* 2010, Tachinami 2010).

Der Vergleich von maschinellen Systemen rotierender NiTi-Feilen zur manuellen Revision mittels Handfeilen stand dabei besonders im Fokus des wissenschaftlichen Interesses (Sae-Lim *et al.* 2000, Betti *et al.* 2001, Ferreira *et al.* 2001, Barrieshi-Nusair *et al.* 2002, De Carvalho *et al.* 2006, Zmener *et al.* 2006, Dall'Agnol *et al.* 2008, Takahashi *et al.* 2009, Duarte *et al.* 2010, Fariniuk *et al.* 2011, Chauhan *et al.* 2012).

Ein weiterer Schwerpunkt derzeitiger Revisionsstudien ist die Frage nach einer möglichen Effizienzsteigerung durch den Einsatz eines Lösungsmittels. Entsprechend wurde der Einfluss von Lösungsmitteln auf die Revisionseffizienz von manuellen oder maschinellen Aufbereitungssystemen untersucht (Sae-Lim *et al.* 2000, Aydin *et al.* 2009, Takahashi *et al.* 2009, Horvath *et al.* 2009) und darüber hinaus die Effizienz verschiedener Lösungsmittel miteinander verglichen (Tamse *et al.* 1986, Scelza *et al.* 2008, Horvath *et al.* 2009). Als Lösungsmittel während der Revision finden Orangenöl, Chloroform, Xylol, Eukalyptusöl, Halothan und Terpentin Anwendung.

Chloroform, Xylol, Halothan, sowie Eukalyptusöl und Terpentin wurden in der Vergangenheit als zytotoxisch und kanzerogen eingestuft (International Agency for research of cancer (IARC) 1989, Scelza *et al.* 2006). Halothan (halogener Kohlenwasserstoff) ist ein volatiles Anästhetikum mit guter Fett- und Blutlöslichkeit, welches als solches in der heutigen Medizin in Deutschland eher historische Bedeutung hat.

Aufgrund unterschiedlicher Studiendesigns sind die Ergebnisse bezüglich der Effizienz verschiedener Revisionstechniken in der derzeitigen Studienlage jedoch teilweise konträr und die daraus folgenden Diskussionen hinsichtlich der Empfehlungen von Revisionsmethoden erscheinen kontrovers.

4.6 Revisionseffizienz

Ein Konsens aller vorangegangenen Studien ist die Tatsache, dass es mit keiner der jeweilig eingesetzten Revisionsmethoden möglich war, eine vollständige Reinigung der Wurzelkanäle zu erzielen (Barrieshi-Nusair *et al.* 2002, Hammad *et al.* 2008, Dall’Agnol *et al.* 2008, Pirani *et al.* 2009, Marfisi *et al.* 2010, Chauhan *et al.* 2012, da Silva *et al.* 2012).

Trotz der teilweise konträren Studienergebnisse, stellen in den meisten Fällen sowohl die konventionelle orthograde Revision mittels Handfeilen als auch die Revision mittels rotierender NiTi-Instrumente effektive Methoden zur Entfernung von Wurzelfüllmaterial dar. In verschiedenen Studien wurden keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Effizienz beider Methoden beschrieben (Barrieshi-Nussair *et al.* 2002, Takahashi *et al.* 2009, Duarte *et al.* 2010). Während Duarte auch bezüglich der Revisionszeiten keine Unterschiede feststellen konnte, zeigten Takahashi und vergleichbare Studien eine signifikante Zeitersparnis durch den Einsatz rotierender Revisionsfeilen gegenüber Handfeilen (Giuliani *et al.* 2008, Takahashi *et al.* 2009, Duarte *et al.* 2010). Sae-Lim *et al.* beschrieben die Methode der manuellen Revision vor allem bei gut kompaktierten Wurzelfüllungen als „ermüdend und zeitaufwändig“ (Sae-Lim *et al.* 2000). Der häufig bestätigte geringere Zeitaufwand rotierender NiTi-Instrumente gegenüber manuellen Feilen wird allgemein als großer Vorteil der rotierenden Instrumente für den Patienten- und Behandlerkomfort gewertet und basiert vermutlich auf der Plastifizierung der Guttapercha durch die beim Einsatz rotierender Instrumente entstehende Friktionswärme, welche zur leichteren Penetration und Entfernbarekeit des Wurzelkanalfüllmaterials führt (Hülsmann *et al.* 1997, Sae-Lim *et al.* 2000, Ferreira *et al.* 2001, Betti und Bramante 2001, Hülsmann *et al.* 2004, Somma *et al.* 2008).

Während die vorliegenden Studienergebnisse hinsichtlich der Revisionszeiten häufig zugunsten der NiTi-Feilen ausfallen und nur in einzelnen Fällen die manuelle Aufbereitungstechnik als zeitsparender beschrieben wurde (Imura *et al.* 2000, Barrieshi-Nusair *et al.* 2002), sind die Aussagen bezüglich der Revisionseffizienzen kontrovers. Oftmals wurden nach dem Einsatz von maschinellen Systemen weniger residuale Materialreste in den Kanälen nachgewiesen (Sae-Lim *et al.* 2000, Saad *et al.*

2007). Darüber hinaus wurde mehrfach ein kanalschonenderes Arbeiten mit Erhalt der Kanal Anatomie, runderen und glatteren Kanälen und einer geringeren Prävalenz von Kanalverlagerungen und Stufenbildungen beschrieben (Bramante und Betti 2000, Ferreira *et al.* 2001, Bergmans *et al.* 2001). Fariniuk *et al.* fanden neben der einfacheren Anwendbarkeit maschineller Systeme auch das leichtere Erreichen der Arbeitslänge durch die friktionswärmebedingte Erweichung der Guttapercha, welche wie zuvor beschrieben auch für die Zeitersparnis verantwortlich gemacht wird (Fariniuk *et al.* 2001, Fariniuk *et al.* 2011). Die Benutzung von rotierenden Nickel-Titan-Instrumenten wurde auf Grund ihrer Sicherheit, Effizienz und Zeitersparnis in der Entfernung von Guttapercha und Sealer während der Revision meist empfohlen (Schirrmeister *et al.* 2006 b-d, Saad *et al.* 2007, Tasdemir *et al.* 2008, Gu *et al.* 2008, Bramante *et al.* 2010), so dass mittlerweile, wie auch in dieser Studie, ein weiterer Forschungsschwerpunkt auf dem Vergleich verschiedener NiTi-Systeme liegt (Da Silva *et al.* 2012). In vorangegangenen Studien wurde die Effizienz des M_{two} -Retreatment-Systems mit *PTUR* (ProTaper Universal Retreatment) verglichen (Somma *et al.* 2008, Bramante *et al.* 2010). Marques da Silva *et al.* verglichen 2012 die Systeme D-RaCe, M_{two} und *PTUR* hinsichtlich ihrer Revisionseffizienz mit und ohne Einsatz von Zusatzinstrumenten steigender ISO-Größe, jedoch ohne Einsatz eines Lösungsmittels. Bisher wurde zur Verbesserung der Revisionseffizienz eine die AMF um zwei Größen übersteigende Aufbereitungsgröße postuliert (Roggendorf *et al.* 2010).

Nicht zu vernachlässigen ist jedoch auch die Anzahl an Untersuchungen, die, oftmals in Kombination mit dem Einsatz eines dentalen Operationsmikroskops (DOM), zu einem besseren Ergebnis für die manuelle Aufbereitung kommt. Es wurde eine beim zirkulären Feilen beobachtete bessere Adaptation der manuellen Feilen an die Kanalwand beschrieben, welche zu einer gründlicheren Reinigung der Kanalwand von anhaftender Guttapercha führte. Während manuelle Feilen durch Vorbiegen gezielter einsetzbar waren, konnten NiTi-Feilen vor allem im apikalen Kanalbereich kaum kontrolliert dirigiert werden (Só *et al.* 2008, Duarte *et al.* 2010, Chauhan *et al.* 2012). Die bessere Taktilität der Handinstrumente ist ein entscheidender Vorteil gegenüber maschinellen Systemen (Dall'Agnol *et al.* 2008, Só *et al.* 2008).

Neben dem höheren Zeitaufwand besteht bei Rotation der Stahlfeilen ein wesentlich höheres Frakturrisiko als dies beim korrekten Einsatz von Nickel-Titan-Instrumenten der Fall ist (Friedman *et al.* 1990 a). Aufgrund der verschiedenen Vor- und Nachteile der einzelnen Methoden wird in der Literatur häufig eine Kombination der einzelnen Techniken als am effizientesten und zeitsparendsten beschrieben (Hülsmann *et al.* 1997, Sae-Lim *et al.* 2000, Ferreira *et al.* 2001, Somma *et al.* 2008, Unal *et al.* 2009, Marfisi *et al.* 2010, Fariniuk *et al.* 2011, Chauhan *et al.* 2012, Jayasenthil *et al.* 2012).

Gordon empfahl den Einsatz von Handfeilen vornehmlich initial zur Schaffung eines Gleitfades für die rotierenden NiTi-Instrumente und in der letzten Phase der Revisionsbehandlung, um eine möglichst komplette Guttaperchaentfernung von den Kanalwänden sicherzustellen (Gordon, *et al.* 2005).

Lösungsmittel

Bei längerer Liegezeit erweist sich die Guttaperchafüllung oftmals als sehr hart und spröde. In diesen Fällen kann zusätzlich ein Lösungsmittel indiziert sein. Auch für die Revision gekrümmter Wurzelkanäle oder gut kompakter Füllungen wird der Einsatz von Lösungsmitteln empfohlen (Gilbert und Rice, 1987). Es existieren in diesem Zusammenhang diverse vergleichbare Arbeiten, in denen, oft mehrfach, ein Lösungsmittel während der Revision verwendet wurde. Die größte Effizienz unter den Lösungsmitteln hat Chloroform, welches jedoch aufgrund seiner potentiellen Karzinogenität umstritten ist (Wennberg und Ørstavik 1989, Schäfer *et al.* 2002). Scelza *et al.* fanden beim Vergleich der Effizienz dreier Lösungsmittel (Chloroform, Orangenöl und Eukalyptusöl) keine signifikanten Unterschiede, jedoch in allen drei Gruppen weniger Wurzelfüllreste als in der Kontrollgruppe ohne Lösungsmittel (Scelza *et al.* 2008). Eukalyptol, welches lediglich bei Ingestion toxisch ist, wird somit als adäquate Alternative zu Chloroform propagiert (Hunter *et al.* 1991, Scelza *et al.* 2007).

Die Ergebnisse hinsichtlich Zeitersparnis und Revisionseffizienz unter Einsatz eines Lösungsmittels sind ebenfalls konträr. Teilweise wurden kürzere Revisionszeiten beim Einsatz von NiTi-Feilen mit Lösungsmittel gegenüber der Revision ohne Lösungsmittel gemessen (Sae-Lim *et al.* 2000, Ferreira *et al.* 2001). Andere Studien fanden keinen zeitlichen Vorteil oder gar eine Verlängerung der Revisionszeit unter Verwendung von Lösungsmitteln (Cunha *et al.* 2007, Takahashi *et al.* 2009, Kfir *et al.* 2012). Während Takahashi *et al.* beim Einsatz von Handinstrumenten mit und ohne Chloroform keine zeitlichen Unterschiede feststellten, fanden sie beim Einsatz von NiTi-Instrumenten mit Lösungsmittel signifikant längere Instrumentierungszeiten im Vergleich zum Einsatz von NiTi-Feilen ohne Lösungsmittel. Hinsichtlich der Revisionseffizienz stellten sie jedoch zwischen den Gruppen NiTi-Feilen mit oder ohne Lösungsmittel und Handfeilen mit oder ohne Lösungsmittel keine signifikanten Unterschiede fest (Takahashi *et al.* 2009). Sae-Lim *et al.* wiederum stellten eine höhere Revisionseffizienz von NiTi-Feilen ohne Lösungsmittel gegenüber NiTi-Feilen mit Lösungsmittel, sowie eine signifikant bessere Reinigung gegenüber Handfeilen mit Lösungsmittel fest (Sae-Lim *et al.* 2000). Als ursächlich und aufgrund der diffizilen Entfernbarkeit problematisch wird in diesem

Zusammenhang die feine Schmierschicht beschrieben, welche unter dem Einsatz von Lösungsmitteln entsteht, sich an die Kanalwand anlegt und somit die Revision erschweren kann (Sae-Lim *et al.* 2000, Gu *et al.* 2008, Takahashi *et al.* 2009, Horvath *et al.* 2009, Reddy *et al.* 2011). Vor allem in Kombination mit rotierenden NiTi-Instrumenten wird der Einsatz eines Lösungsmittels teilweise kritisch gesehen, da die beschriebene Schmierschicht eventuell durch die bei der maschinellen Revision entstehende Reibungswärme noch verstärkt werden kann (Betti *et al.* 2010).

Dennoch existieren zahlreiche Studien, welche im Gegensatz dazu eine Steigerung der Revisionseffizienz unter dem Einsatz eines Lösungsmittels zeigen (Barrieshi-Nusair *et al.* 2002, Hülsmann *et al.* 2004, De Oliveira *et al.* 2006, Ezzi *et al.* 2006, Gergi *et al.* 2007, Hammad *et al.* 2008, Zanettini *et al.* 2008).

Letztendlich sollte die Wahl der Revisionsmethode in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren wie Wurzelkanalform und -länge sowie der Qualität der Wurzelkanalfüllung getroffen werden (Friedmann *et al.* 1990).

Bisher liegen keine Studien zum Vergleich verschiedener rotierender NiTi-Systeme in Abhängigkeit von einer ovalen Kanalkonfiguration vor. Auch die Effizienz von Lösungsmitteln in Kombination mit verschiedenen rotierenden NiTi-Feilen in derartigen Kanalformen wurde noch nicht explizit untersucht. Diverse Studien belegten eine höhere Revisionseffizienz nach Instrumentierung mit Revisionsfeilen, welche die ISO-Größe der AMF überschritten. Es wurde gezeigt, dass die Revision um mindestens zwei Instrumentengrößen über die apikale Masterfeile der vorangegangenen Aufbereitungsgröße erfolgen sollte, um im Rahmen der Revision ein Minimum an Wurzelkanalfüllmaterialresten auf der Kanaloberfläche zurück zulassen (Hassanloo *et al.* 2007, Roggendorf *et al.* 2010). Auch eine erhöhte Effizienz von Spüllösungen in Kombination mit Ultraschallaktivierung wurde belegt (Mollo *et al.* 2012). Eine Steigerung der Revisionseffizienz mit Hilfe von schall-aktivierten Lösungsmitteln nach erfolgter konventioneller Revision mittels rotierender NiTi-Feilen bis zur ISO-Größe der AMF wurde bisher in keiner Studie untersucht. Diverse Studien bezüglich der Effizienz des *EndoActivators* beziehen sich ausschließlich auf die Entfernung von Smear layer und Debris aus dem Wurzelkanal sowie auf die Desinfektion durch die Aktivierung von Spüllösungen während der endodontischen Behandlung. Die Ergebnisse zeigten, dass sowohl gerade als auch gekrümmte Kanäle, welche mit Hilfe des *EndoActivators* behandelt wurden, vom apikalen bis hin zum koronalen Kanaldrittel signifikant sauberer waren als konventionell gespülte Kanäle. Darüber hinaus konnte auch eine verbesserte Reinigung nicht direkt instrumentierbarer Lateralkanäle nachgewiesen werden. (Gregorio *et al.* 2009, Caron *et al.* 2010). Versuche hinsichtlich der Aktivierung von Lösungsmitteln mittels des *EndoActivators* zur Steigerung der Revisionseffizienz wurden

bisher nicht unternommen. Das Ziel dieser Studie ist demnach der Vergleich der Effizienz verschiedener rotierender NiTi-Systeme in Kombination mit oder ohne ein Lösungsmittel (Eukalyptol) zur Guttapercha- und Sealerentfernung in ovalen Wurzelkanälen. Des Weiteren soll untersucht werden, ob sich die Reinigungseffizienz durch die hydrodynamische Aktivierung des Lösungsmittels mit Hilfe von Schall beziehungsweise in den nicht mit Lösungsmittel behandelten Kanälen durch die Aktivierung mittels Handinstrumenten und *EndoExpress* in einem zweiten Revisions-schritt steigern lässt.

5 Material und Methoden

5.1 Probenvorbereitung

Für die Vergleichsstudie wurden 60 extrahierte menschliche Zähne, vorwiegend Prämolaren und Molaren, mit ovalen Wurzelquerschnitten untersucht. Die Auswahl der Probenzähne basiert auf folgenden Kriterien:

- bleibende Zähne
- abgeschlossenes Wurzelwachstum
- keine Wurzelkanalfüllung oder Wurzel aufbaustifte
- möglichst gerader Kanalverlauf
- ovaler Wurzelkanalquerschnitt
- Wurzellänge mindestens 10 mm

Initial wurden die extrahierten Zähne mit Hilfe von Scalern und Küretten von anhaftenden desmodontalen Gewebsresten und Konkrementen gereinigt und anschließend bis zur Bearbeitung in einer 0,1%igen Thymollösung gelagert (Abb. 1a).

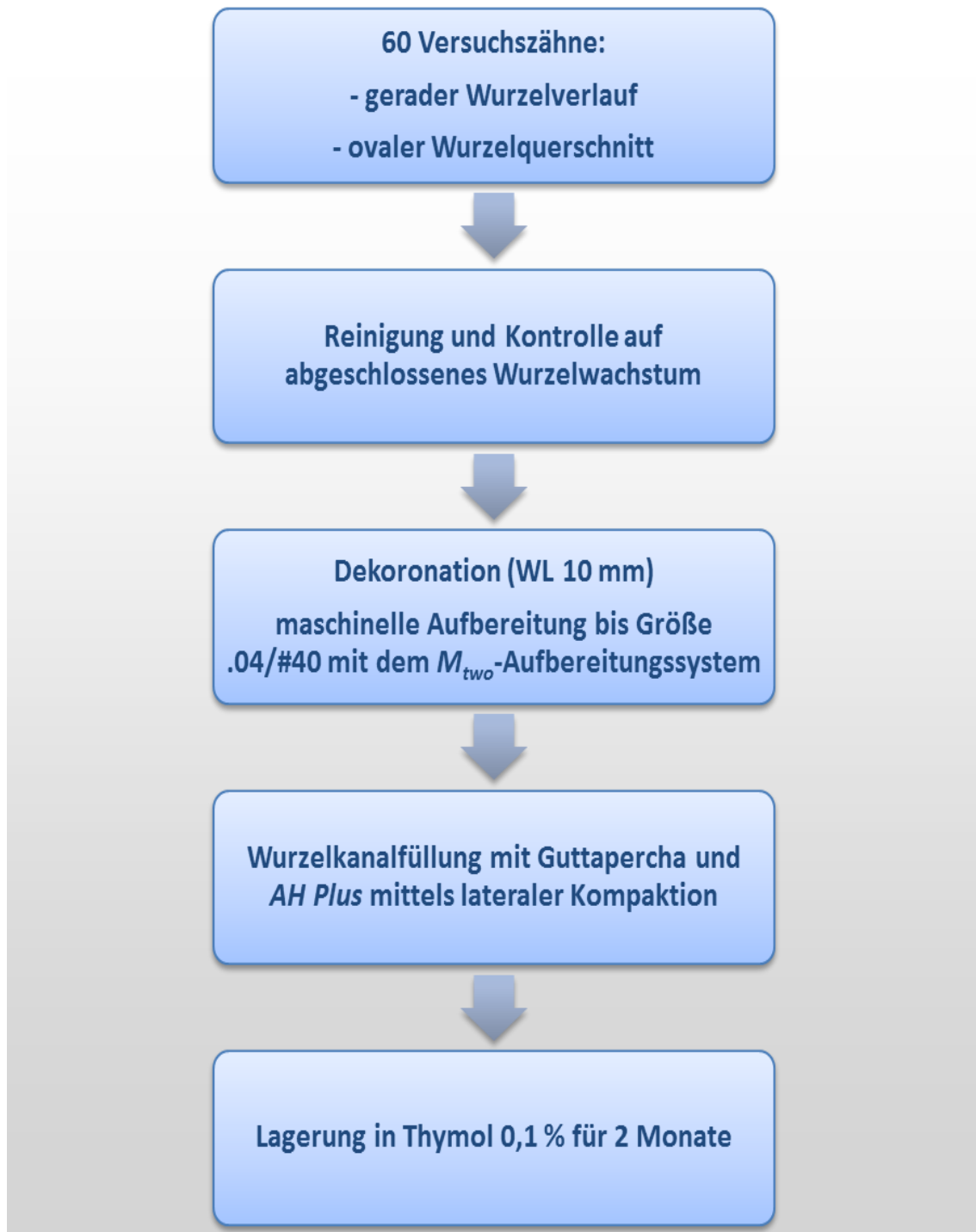


Abbildung 1 a: Vorbereitung der Proben

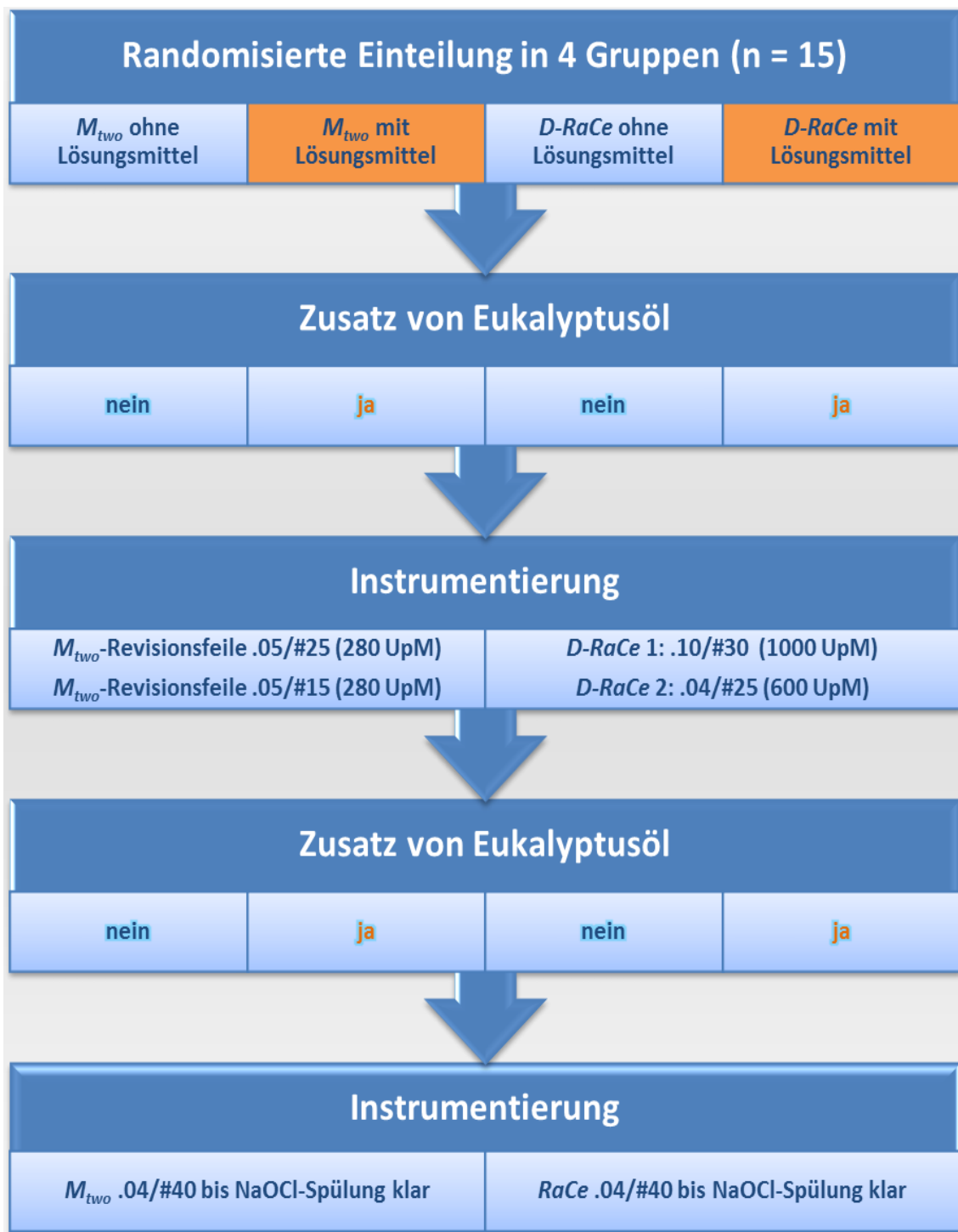


Abbildung 1b: Revisionsschritt 1 mit jeweils einer Gruppe mit und einer Gruppe ohne Lösungsmittelzusatz pro Feilensystem

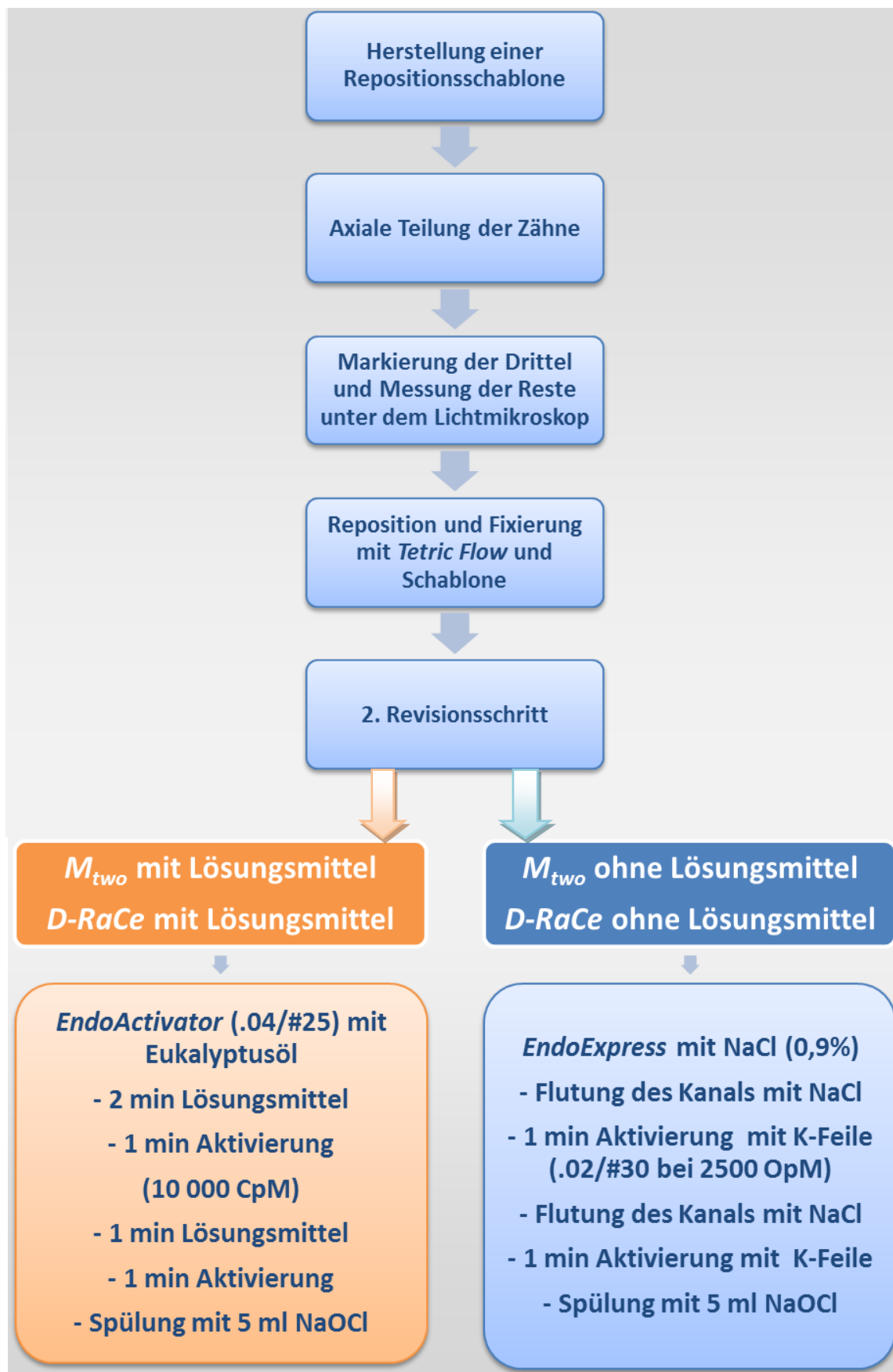


Abbildung 1 c: Revisionsschritt 2 – Aktivierung von Eukalyptusöl mit dem EndoActivator oder Aktivierung ohne Lösungsmittel mit dem EndoExpress-Handstück und einer K-Feile

Der Zugang zur Pulpenkammer erfolgte konventionell durch Trepanation mittels High-Speed-Diamantschleifern unter Wasserkühlung. Anschließend wurden die Kanäle mit einer C-Feile Iso 15 (*VDW GmbH, München, Deutschland*) sondiert und im koronalen Drittel mittels Gates-Glidden-Bohrern (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland*) der Größen 3 bis 1 in Crown-down-Technik erweitert. Die Standardisierung der Arbeitslänge auf 9 mm erfolgte durch Zurückziehen der C-Feile ISO 15 um 1 mm nach apikaler Penetration und anschließender koronaler Kürzung der Wurzel auf die entsprechende Wurzelgesamtlänge von 10 mm.

Die Kanalform wurde radiologisch mittels Silberstiftaufnahmen kontrolliert. Die Aufbereitung des Restkanals auf die festgelegte Arbeitslänge erfolgte maschinell mit Hilfe des M_{two} -Aufbereitungssystems in Single-length-Technik bis ISO .04/#40 unter regelmäßiger Kontrolle der apikalen Durchgängigkeit mittels einer C-Feile ISO 15 und intermittierenden Spülungen der Kanäle mit 2 ml 2,5% NaOCl. Bei der Instrumentierung der Kanäle wurde besonderer Wert auf den Erhalt der ovalen Kanalanatomie durch entsprechende Führung der M_{two} -Feilen mit Betonung der oro-vestibulären Kanalausdehnung gelegt. Zur abschließenden Spülung der Kanäle wurden 2 ml 2,5% NaOCl und 2 ml 17% EDTA (Apotheke UKGM) in die aufbereiteten Kanäle injiziert.

Die Zähne wurden dann bis zur Weiterverarbeitung gemeinsam mit einem in Thymol getränkten Zellstofftuch in feuchtem Milieu bei Raumtemperatur gelagert.

5.2 Wurzelkanalfüllung der Proben

Die Wurzelkanalfüllungen erfolgten mittels einheitlicher Obturation der Kanäle mit Guttaperchapoints und *AH Plus-Sealer* (*Dentsply, Konstanz, Deutschland*).

Zu Beginn wurden die Kanalwände maschinell mit Hilfe eines Lentulos ISO 25 gleichmäßig dünn mit Sealer bedeckt. Anschließend wurde ein ebenfalls mit Sealer beschichteter, mit Klemmpassung (sog. „tug back“) auf Arbeitslänge angepasster Masterpoint ISO 40 in den Kanal eingebracht. Das verbleibende Kanallumen wurde in lateraler Kompaktionstechnik mittels Fingerspreader ISO 25 (*VDW München*) und akzessorischer Guttaperchapoints gefüllt. Abschließend erfolgten die koronale Kompaktion, sowie das Abschmelzen von überstehenden Guttapercharesten mittels eines heißen Exkavators und der koronale Verschluss des Kanals mit *Ketac*. Zur Reduktion der intraoperativen Variabilität wurden die Kanalaufbereitung und -füllung durch den gleichen Behandler vorgenommen.

Vor Fortführung der Behandlung wurden die Zähne im Anschluss an den zuvor geschilderten Schritt für zwei Monate in oben genannter Art und Weise konserviert und gelagert, um eine vollständige Aushärtung des Sealers zu ermöglichen.

5.3 Revision

Es erfolgte die zufällige Aufteilung der Zähne in vier Revisionsgruppen (n=15).

In zwei der vier Gruppen erfolgte die Revision der Wurzelkanalfüllungen mit M_{two} -Retreatment-Feilen und dem M_{two} -Aufbereitungssystem (Abb. 2), in den anderen beiden Gruppen mit dem $D-RaCe$ -System (Abb. 3). In jeweils einer der beiden Gruppen eines Revisionssystems wurde zusätzlich ein Lösungsmittel (Eukalyptusöl) eingesetzt. Dementsprechend ergaben sich folgende Gruppenkonstellationen (Abb. 1b):

- Gruppe 1 M_{two} ohne Lösungsmittel
- Gruppe 2 M_{two} mit Lösungsmittel
- Gruppe 3 $D-RaCe$ ohne Lösungsmittel
- Gruppe 4 $D-RaCe$ mit Lösungsmittel

In allen Gruppen erfolgte die Aufbereitung der Kanäle unter Zeitnahme der einzelnen Revisionsschritte mit einer Stoppuhr:

1. Erreichen der Arbeitslänge
2. Gesamte Instrumentierungszeit
3. Gesamtrevisionsdauer inklusive Spülung und Trocknung der Kanäle.

In den Gruppen 1 und 2 wurde das M_{two} -System ebenfalls in Single-length-Technik eingesetzt, das heißt, alle Feilen wurden bis auf Arbeitslänge in den Kanal eingebracht. Nach Entfernung der Deckfüllung (*Ketac*) mit einem Diamantschleifkörper unter Wasserkühlung und Erweiterung des koronalen Kanaldrittels mittels Gates-Glidden-Bohrern wurde in Gruppe 2 ein Tropfen Eukalyptusöl auf die Guttaperchafüllung aufgebracht. Anschließend wurde mit den an ihren Spitzen aktiv schneidenden M_{two} -Revisionsfeilen .05/#25 und .05/#15 bei $280 \text{ U} \times \text{min}^{-1}$ sukzessive die Guttaperchafüllung entfernt. In Gruppe 2 wurde während der Instrumentierung im mittleren und im apikalen Wurzelkanaldrittel nochmals Eukalyptusöl nachgegeben. Anschließend

erfolgten die apikale Sondierung manuell mit einer C-Feile ISO 15 und die maschinelle Erweiterung des Wurzelkanals mit konventionellen M_{two} -Instrumenten bis zur ISO-Größe .04/#40 unter kontinuierlicher Spülung mit NaCl auf die ursprüngliche Aufbereitungsgröße.

In den Gruppen 3 und 4 erfolgte die Desobturation mit dem *D-RaCe*-System (FKG Dentaire, La-Chaux-de-Fonds, Schweiz), ebenfalls unter Zeitnahme der einzelnen Revisionsschritte mit einer Stoppuhr.

Nach Entfernung der Deckfüllung (*Ketac*) mit einem Diamanten unter Wasserkühlung wurde in Gruppe 4 ebenfalls ein Tropfen Eukalyptusöl auf die nun freigelegte Guttaperchafüllung aufgebracht. Anschließend wurde die *D-RaCe 1* ISO .10/#30 (DR-1) mit Hilfe ihrer aktiven Spitze mit $1000 \text{ U} \times \text{min}^{-1}$ in das Füllmaterial des koronalen Kanaldrittels eingeführt. Zur Aufbereitung des mittleren und apikalen Kanaldrittels wurde die DR-2 ISO .04/#25 mit $600 \text{ U} \times \text{min}^{-1}$ auf Arbeitslänge angesetzt, bis kein Füllmaterial mehr auf dem Instrument sichtbar war. In Gruppe 4 wurde zuvor nochmals Lösungsmittel in den Kanal eingebracht. Die definitive Aufbereitung des Kanals auf die ursprüngliche Aufbereitungsgröße von ISO 40 erfolgte anschließend unter kontinuierlichen NaCl-Spülungen mit konventionellen *RaCe-NiTi*-Instrumenten bei $500 \text{ U} \times \text{min}^{-1}$ bis das Lösungsmittel klar war und nach der letzten Instrumentengröße die Spülflüssigkeit keine Reste von Wurzelfüllmaterial mehr aufwies.

Alle Instrumente wurden in maximal 6 Kanälen verwendet und anschließend verworfen. Bei Abnutzungserscheinungen wurden die Instrumente sofort ersetzt. DR-2 wurde nach einmaliger Verwendung verworfen.

Bei der Instrumentierung im Rahmen der Revisionsbehandlung wurde ebenfalls besondere Rücksicht auf die anatomischen Besonderheiten ovaler Wurzelkanäle genommen, um eine Veränderung der Wurzelkanalanatomie zu vermeiden.

Im Anschluss an die Instrumentierung wurden alle Kanäle mit 1 ml NaOCl, 2,5 ml EDTA, 4 ml NaOCl und 5 ml NaCl gespült und abschließend mit Papierspitzen getrocknet. Die Lagerung der Zähne erfolgte bis zur Weiterverarbeitung in oben beschriebener Weise mit Thymol getränkten Tüchern in einer dichten Aufbewahrungsbox.

Zur Herstellung einer eindeutigen Repositionsschablone wurden die revidierten Zähne gruppenweise mit ihrem koronalen Drittel in Silaplast eingebettet und die freien apikalen 2/3 der Wurzeln mit einer Tiefziehfolie überzogen. Anschließend erfolgte die axiale Teilung der Wurzelkanäle mittels einer Trennscheibe (Abb. 4). Die Wurzelkanalhälften wurden gedrittelt und die Grenzen zwischen apikalem und mittlerem, sowie zwischen mittlerem und koronalem Drittel mit einem Skalpell und Bleistift auf den Wurzelschnittflächen markiert. Die Kanalwandhälften wurden jeweils

digital mit dem Lichtmikroskop (10-fache Vergrößerung) aufgenommen und zur Beurteilung und Vermessung von residualem Wurzelfüllmaterial in der *Leica Application Suite* gespeichert.

Anschließend wurden die Wurzelkanalhälften mit Hilfe der angefertigten Repositionsschablonen reponiert und mittels *Tetric Flow* von außen refixiert und abgedichtet (Abb. 5 a-c).

Es erfolgte nun ebenfalls gruppenweise die Anfertigung von Repositionsschablonen aus *Silaplast* mit koronalem Zugang zum Kanal.

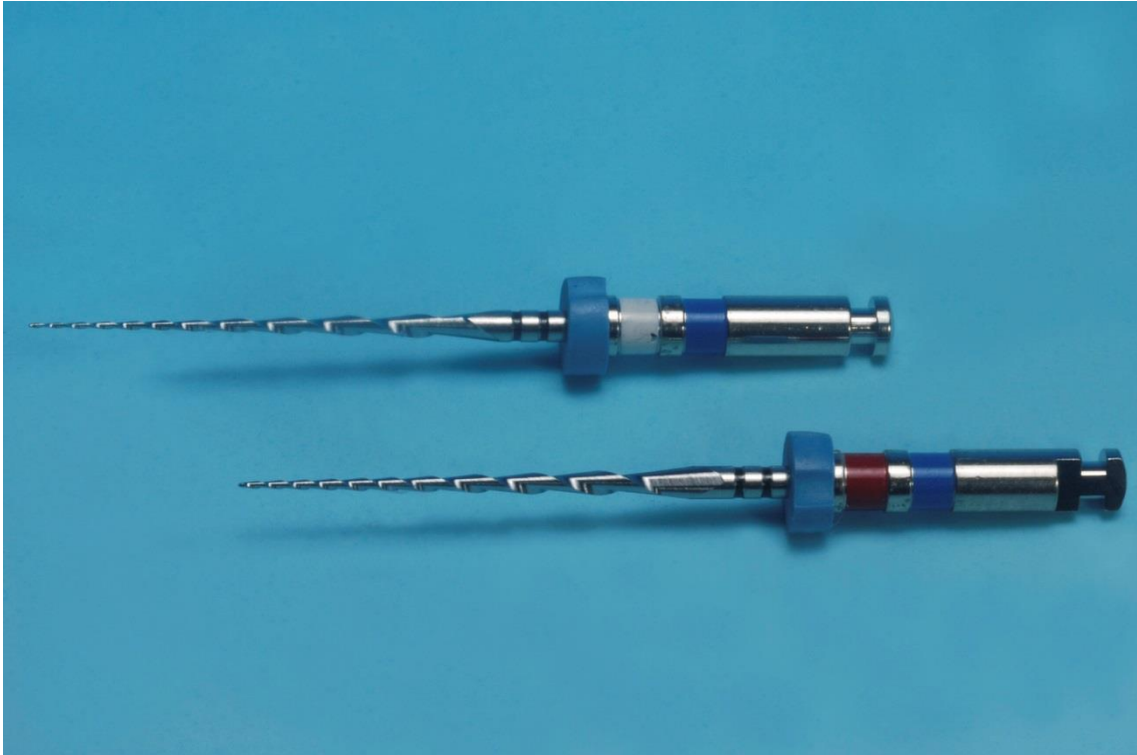


Abbildung 2: *Mtwo*-Revisionsfeilen .05/#25 (unten) und .05/#15 (oben)



Abbildung 3: *D-RaCe*-System DR-1 (unten) und DR-2 (oben)



Abbildung 4: Anlegen von kontralateralen Sollbruchstellen mittels einer Diamanttrennscheibe

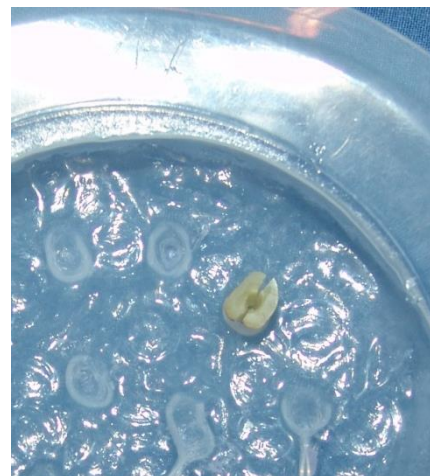


Abbildung 5 a, b und c:

Repositionsschablone (Tiefziehfolie) mit reponiertem Zahn in Ansicht von apikal (a) und von koronal (b), Reposition der Wurzelhälften mit TetricFlow (c).

5.4 Durchführung von Vorversuchen mit Lösungsmittel

Das Ziel der Vorversuche war die Beurteilung einer effektiven Einwirkzeit von Eukalyptusöl auf Guttapercha. Zu diesem Zweck wurde eine Spritzenkappe mit Eukalyptusöl gefüllt, ein Guttaperchapoint ISO 40, entsprechend der zur Obturation der Wurzelkanäle verwendeten Masterpoints, eingetaucht und unter Zeitnahme mit einer Stoppuhr die zeitabhängige Aufweichung des Points gemessen. Als Maßstab für die Aufweichung wurde das Ausmaß der elastischen Verformung des mit einer Pinzette am koronalen Teil gefassten und in der Horizontalen gehaltenen Guttaperchapoints visuell beurteilt. Nach zwei Minuten war erstmals ein deutliches Absinken der Guttaperchaspitze als Zeichen des Stabilitätsverlustes erkennbar.

In den Gruppen 2 und 4 wurde eine erneute Aktivierung mit dem Lösungsmittel Eukalyptusöl vorgenommen (Abb. 1c). Dieses wurde in den gesamten Kanal eingebracht und entsprechend der Vorversuche für zwei Minuten belassen, bevor es eine Minute lang mit dem *EndoActivator* (Dentsply Tulsa, OK, USA) bei 10.000 cpm aktiviert wurde (Abb. 6). Danach wurde etwas Eukalyptusöl nachgegeben, wiederum eine Minute einwirken lassen und nochmals eine Minute mit dem *EndoActivator* aktiviert. Anschließend wurden die Kanäle gründlich mit 5 ml NaOCl nachgespült, getrocknet und erneut in oben beschriebener Weise unter dem Lichtmikroskop aufgenommen und zur Beurteilung von residualem Wurzelfüllmaterial gespeichert.

5.5 Durchführung von Vorversuchen ohne Lösungsmittel

Ziel der durchgeführten Vorversuche war es, die erforderliche Zeit, die zur Lösung von Sealer- bzw. Guttapercharesten erforderlich war, zu analysieren. Zur Festlegung des Procederes zur Weiterbehandlung ohne Lösungsmittel in den Gruppen 1 und 3 wurden verschiedene Vorversuche unternommen.

Zwei durchsichtige Kunststoff-Endoblöcke (.06/#25 und .06/#40) wurden wiederholt mit *GuttaFlow* und Guttapercha-Masterpoints ISO 25 bzw. ISO 40 gefüllt. Nach Aushärtung des *GuttaFlow* wurden die Masterpoints manuell entfernt und die an den Kanalwänden verbleibenden *GuttaFlow*-Residuen mit *EndoExpress* (Abb. 7) und verschiedenen Handinstrumenten (*Verifier* 2.500 U x min⁻¹ und K-Feile-/Reamer in verschiedenen ISO-Größen: Block 25.06 – ISO V20, K20, Block 40.06 – ISO V 35, V 30, K 35, K 30) zu entfernen versucht.

Die Ergebnisse wurden visuell nach jeweils einer und zwei Minuten evaluiert. Das optisch beste Ergebnis wurde durch die K-Feile ISO 30 nach zwei Minuten erzielt.

Entsprechend wurde in den Gruppen 1 und 3 eine Aktivierung mittels 0,9% NaCl-Lösung und *EndoExpress* mit K-Feile (Reamer) ISO 30 bei $2.500 \text{ U} \times \text{min}^{-1}$ vorgenommen. Nach einer einminütigen Behandlungsdauer wurde der Kanal erneut vollständig mit NaCl-Lösung 0,9% gefüllt und eine weitere Minute mit dem *EndoExpress*-Winkelstück und der K-Feile aktiviert. Abschließend wurden die Kanäle mit 5 ml NaCl-Lösung gespült und mit dem *KaVo FineAir*-Ansatz getrocknet. Bei der Instrumentierung wurde Wert auf eine drucklose Feilenführung entlang der Kanalwände gelegt, um Dentinabtrag oder Kanalverlagerungen, beziehungsweise eine Veränderung der Kanalanatomie zu vermeiden.



Abbildung 6: *EndoActivator* mit Ansatz



Abbildung 7: *EndoExpress*-Handstück

5.6 Beurteilung der Ergebnisse

Die Auswertung der Proben erfolgte anhand der mit dem Lichtmikroskop bei 10-facher Vergrößerung aufgenommenen und mittels *Leica Application Suite* digital gespeicherten lichtmikroskopischen Bilder. Zur systematischen Beurteilung wurden die Wurzelkanalhälften jeweils in ein apikales, ein mittleres und ein koronales Drittel unterteilt. Pro Kanaldrittel wurden die Sealer- und Guttapercharestes sowie die Kanalgesamtoberfläche mit Hilfe des Bildbearbeitungsprogramm *QWin* markiert und nach erfolgter Kalibrierung vermessen.

Es wurde keine Unterscheidung hinsichtlich Guttapercha- und Sealerresten gemacht. Die Angabe der Ergebnisse erfolgte als prozentualer Anteil der bedeckten Kanalwandoberflächen von der Kanalgesamtoberfläche (Percentage of Residue-coated Canal Surface; PRCS) analog zu Roggendorf *et al.* (2010). Die Messwerte der lichtmikroskopischen Auswertung wurden gemeinsam mit den während des ersten Revisionsschrittes erhobenen Aufbereitungszeiten der einzelnen Revisionsschritte mittels *Microsoft Excel* tabellarisch erfasst und für die statistische Auswertung gespeichert.

Die statistische Analyse erfolgte schließlich mit der Software *SPSS 20.0* mittels nicht-parametrischer Tests. Die Wurzelkanäle wurden in einzelne Kanalabschnitte -apikales, mittleres und koronales Drittel- unterteilt und auf Sealer- und Guttapercharestes hin untersucht, wobei kein Unterschied zwischen den beiden Materialien gemacht wurde. Signifikanzen wurden durch den nicht-parametrischen Friedman-Test sowie mit dem ebenfalls parameterfreien Wilcoxon-Test überprüft (Signifikanzwert $p \leq 0,05$).

Nach beiden Revisionsschritten wurden für die Revisionsmethoden in jedem der drei Kanaldrittel die Sealer- und Guttapercharestes ermittelt. Die prozentualen Werte für Sealer- und Guttapercharestes wurden bezüglich Kanalabschnitt und Revisionsmethode miteinander verglichen. Außerdem wurden die Revisionszeiten pro Revisionsschritt und die Gesamtrevisionszeiten der vier Revisionsmethoden gegenübergestellt.

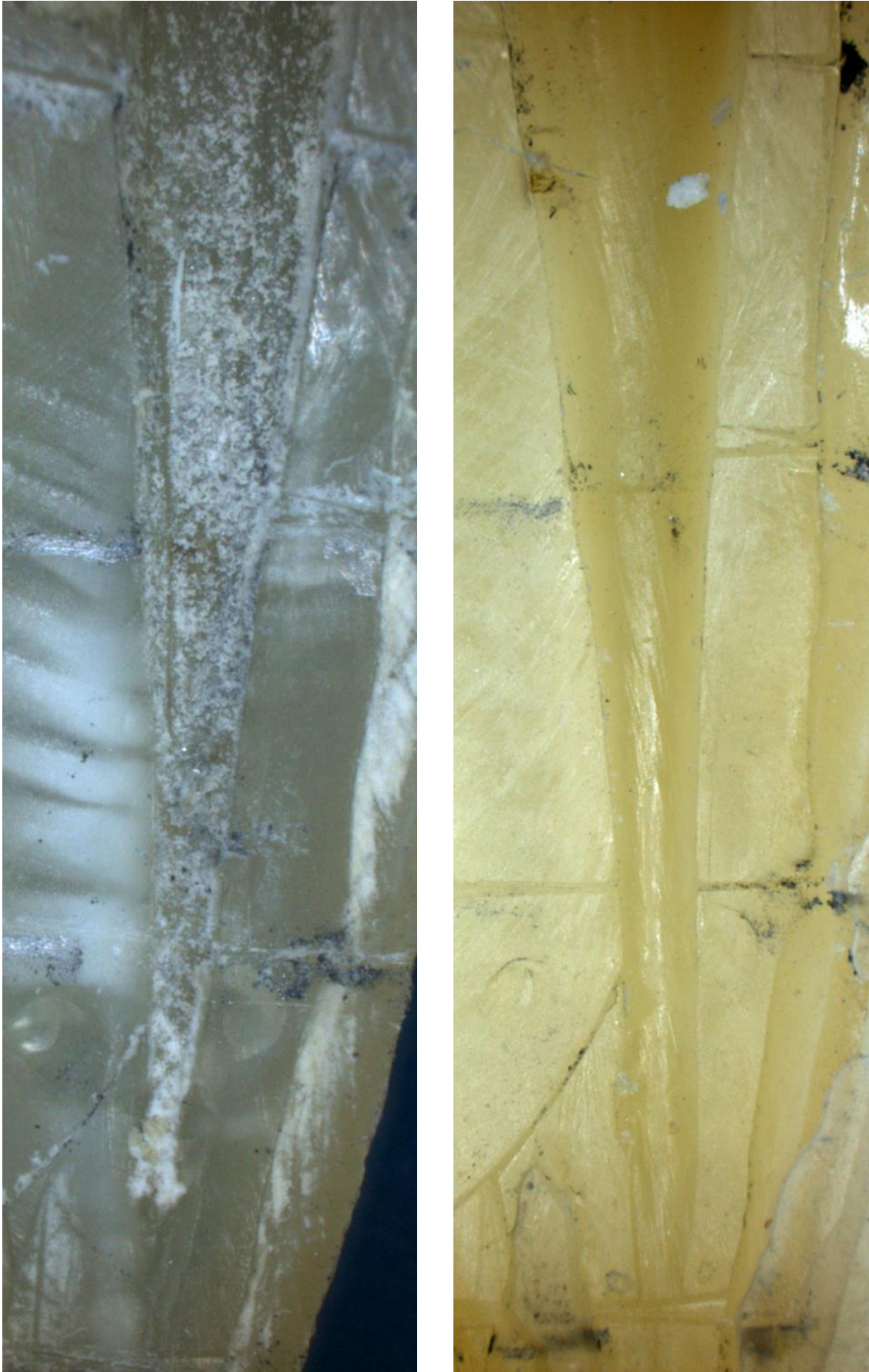


Abbildung 8: Probe aus Gruppe 1 (M_{two} -Feilen ohne Lösungsmittel) nach Revisionsschritt 1 (links) und 2 (rechts)

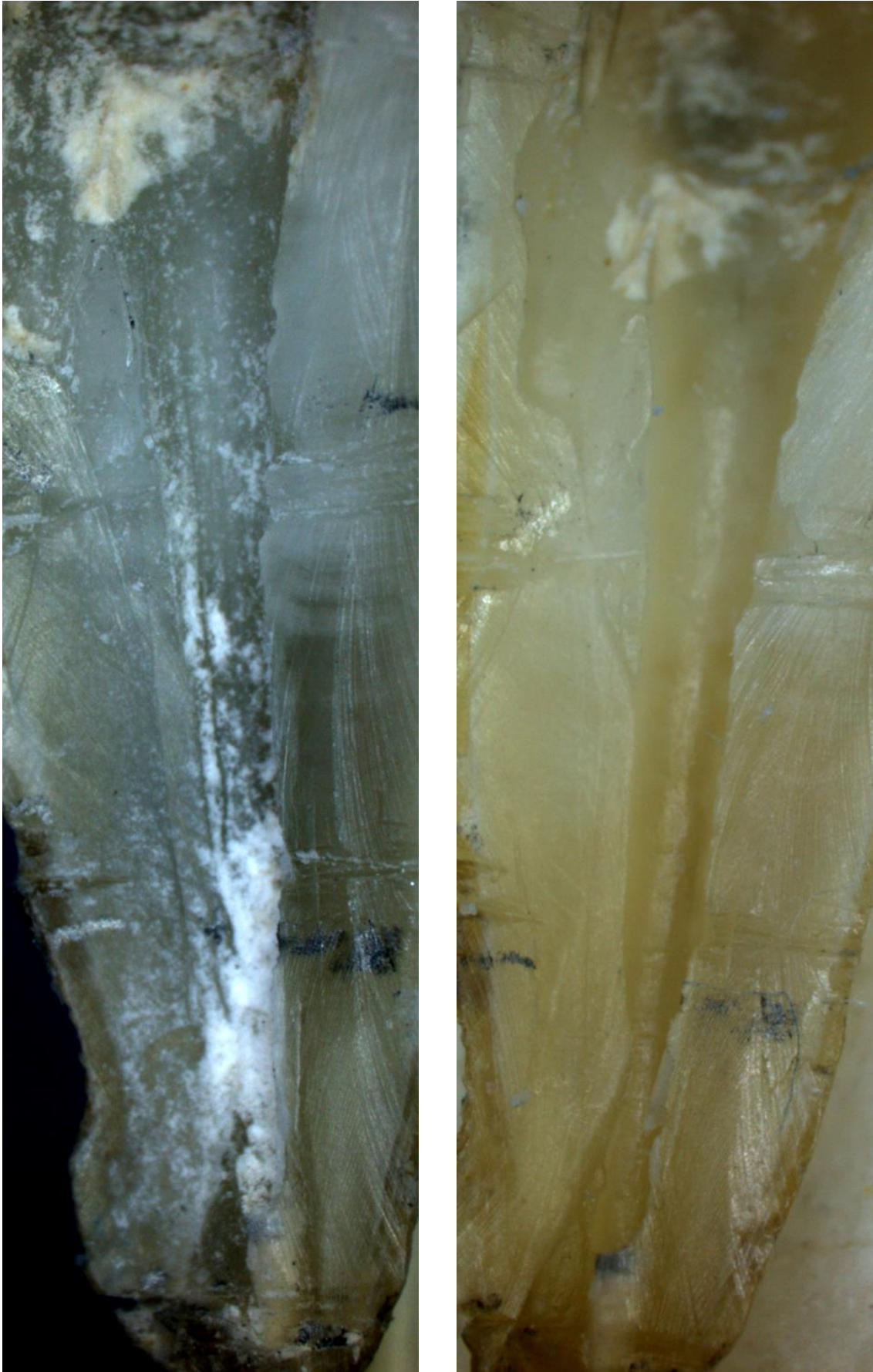


Abbildung 9: Probe aus Gruppe 2 (M_{two} -Feilen mit Eukalyptusöl)
nach Revisionsschritt1 (links) und 2 (rechts)



Abbildung 10: Probe aus Gruppe 3 (*D-RaCe* ohne Lösungsmittel)
nach Revisionsschritt 1 (links) und 2 (rechts)



Abbildung 11: Probe aus Gruppe 4 (*D-RaCe* mit Lösungsmittel)
nach Revisionsschritt 1 (links) und 2 (rechts)

6 Ergebnisse

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe einfaktorieller Varianzanalyse (einfaktorielle ANOVA) und multifaktorieller Tests (Post-hoc-Test nach Tamhane). Das Signifikanzniveau lag bei 5%.

6.1 Vergleich der Revisionsdauer der einzelnen Gruppen

Vergleichend untersucht wurden die Zeiten der einzelnen Aufbereitungsschritte: Instrumentierungszeit bis zum Erreichen der Arbeitslänge, die Gesamtinstrumentierungsdauer und die gesamte Revisionsdauer, welche sich aus der Gesamtinstrumentierungsdauer, sowie der Spül- und der Trocknungszeit zusammensetzt.

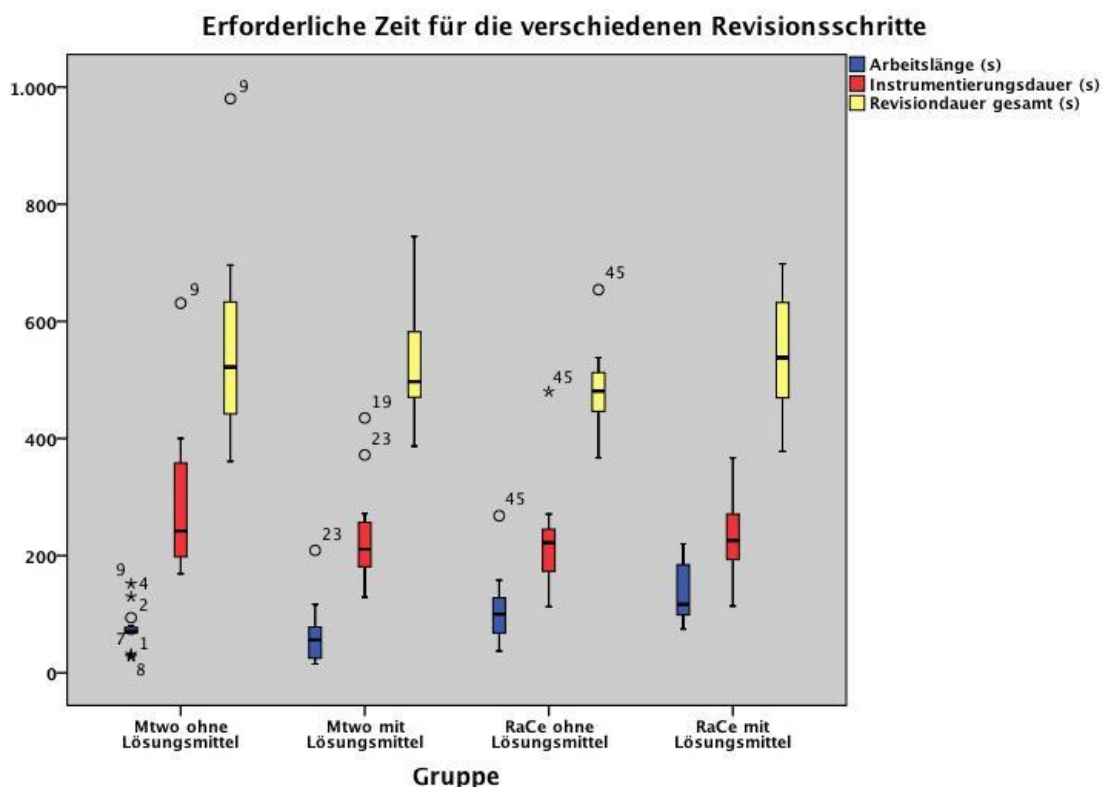


Abbildung 12: Dauer der einzelnen Revisionsschritte im Gruppenvergleich

Hinsichtlich der gemessenen Zeiten (in s) der einzelnen Revisionsphasen („Zeit bis zum Erreichen der Arbeitslänge“, „Gesamtinstrumentierungszeit“ sowie „Revisionszeit gesamt“) im ersten Revisionsschritt zeigten sich ausschließlich in der „Zeit bis zum Erreichen der Arbeitslänge“ sowohl in der einfaktoriellen ANOVA, als auch im

nachfolgenden Post-hoc-Test signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen experimentellen Gruppen (Abb. 12).

6.2 Vergleich der gruppenabhängigen Zeiten bis zum Erreichen der Arbeitslänge

Der initiale Aufbereitungsschritt der ersten Revision „Erreichen der Arbeitslänge“ dauerte mit der *RaCe* mit Lösungsmittel (138,8 s) signifikant länger als mit der M_{two} mit (63,2 s, $p = 0,001$) und M_{two} ohne Lösungsmittel (74,1 s, $p = 0,002$). Die Arbeitslänge konnte auch mit der *RaCe* ohne Lösungsmittel (107,5 s) schneller erreicht werden als mit der *RaCe* mit Lösungsmittel. Hier waren jedoch keine signifikanten Unterschiede vorhanden.

6.3 Vergleich der benötigten Instrumentierungszeiten in den einzelnen Gruppen

Bezüglich der reinen Instrumentierungszeit war die Revisionsgruppe *RaCe* ohne Lösungsmittel mit 223,1s die schnellste Gruppe, gefolgt von M_{two} mit Lösungsmittel (227,3 s), *RaCe* mit Lösungsmittel (227,8 s) und M_{two} ohne Lösungsmittel (291,1 s). Hier lagen keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen vor.

6.4 Vergleich der gesamten Revisionsdauer der einzelnen Gruppen

Die kürzeste Gesamtrevisionszeit war hierbei in der Gruppe *RaCe* ohne Lösungsmittel (479,9 s) ermittelt worden, gefolgt von den Gruppen M_{two} mit Lösungsmittel (533,1 s), *RaCe* mit Lösungsmittel (539,4 s) und M_{two} ohne Lösungsmittel (558,2 s). Auch hier zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen experimentellen Gruppen.

6.5 Revisionszeiten für Schritt 2

Da die Zeiten der einzelnen Revisionsphasen im zweiten Revisionsschritt im Gegensatz zum ersten Revisionsschritt keine abhängigen Variablen darstellten,

sondern als Parameter vorgegeben und somit zwischen den einzelnen Gruppen identisch waren, konnte hier auf eine statistische Auswertung verzichtet werden.

6.6 Vergleich der verbliebenen Wurzelkanalfüllmaterialreste nach dem ersten Revisionsschritt

6.6.1 Wurzelkanalfüllmaterialreste in den einzelnen Kanalabschnitten im Gruppenvergleich

Die nach dem ersten Revisionsschritt verbliebenen sowie unter dem Lichtmikroskop gemessenen Wurzelfüllreste wurden als bedeckte Wurzelkanaloberfläche in Prozent (%) von der Wurzelkanalgesamtoberfläche für jedes Wurzelkanaldrittel separat kalkuliert (PRCS). Bei der Auswertung der einzelnen Wurzelkanaldrittel „apikal“, „mitte“ und „koronal“ ergaben sich in der einfaktoriellen ANOVA signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Revisionsgruppen im mittleren und koronalen Bereich (Abb. 13). Die Signifikanz im koronalen Drittel konnte durch multifaktorielle Tests (Post-hoc-Test nach Tamhane) nicht bestätigt werden.

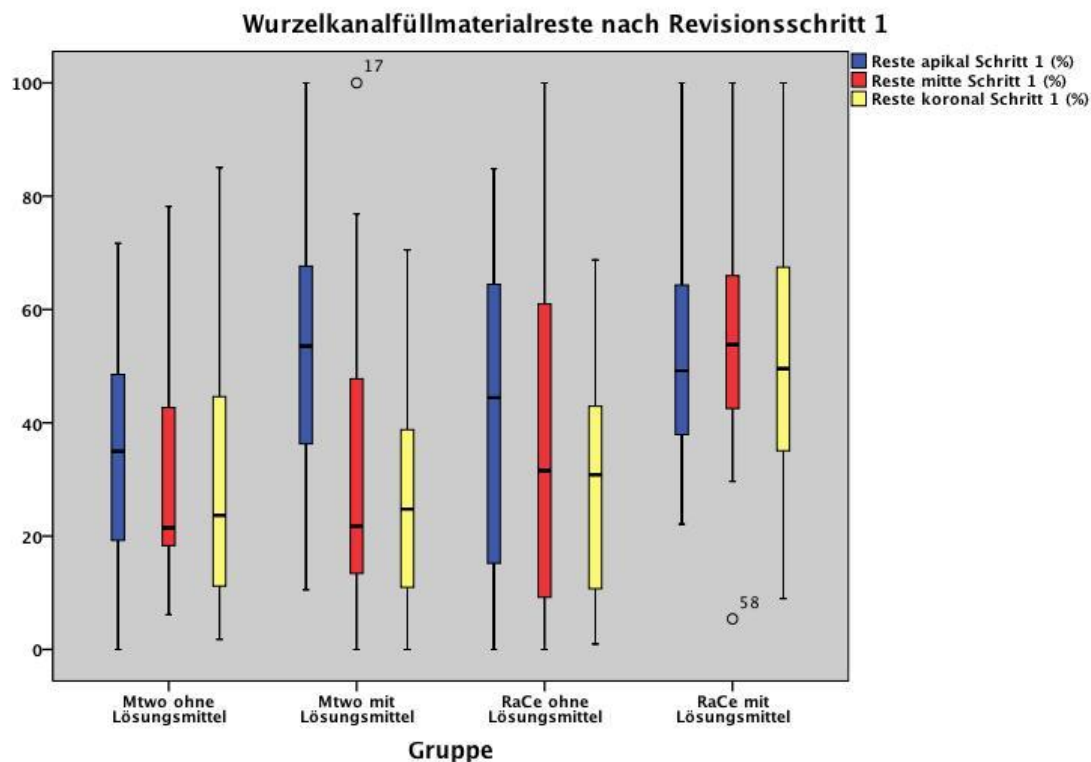


Abbildung 13: Wurzelfüllreste in den Wurzelkanaldritteln nach dem ersten Revisionsschritt im Gruppenvergleich

Apikales Kanaldrittel

Im apikalen Drittel lagen ebenfalls keine signifikanten Differenzen zwischen den Revisionsgruppen vor. Die besten Ergebnisse in diesem Bereich wurden mit dem M_{two} -System ohne Lösungsmittel (35,5%) erzielt. Es folgten die Gruppen $RaCe$ ohne Lösungsmittel (42,8%), M_{two} mit Lösungsmittel (51,6%) und $RaCe$ mit Lösungsmittel (52,7%).

Mittleres Kanaldrittel

Im mittleren Drittel wies die Gruppe 1 (M_{two} ohne Lösungsmittel) mit 29,5% die besten Ergebnisse auf, wohingegen die Gruppe 4 ($RaCe$ mit Lösungsmittel) mit 55,8% einen signifikant höheren Prozentsatz an verbliebenen Wurzelfüllungsresten zeigte (Tamhane-Test: $p=0,022$, mittlere Abweichung 26,3%). Die Gruppen M_{two} mit Lösungsmittel (33%) und $RaCe$ ohne Lösungsmittel (38,9%) mit den zweit- respektive drittbesten Ergebnissen wiesen keine signifikanten Abweichungen auf.

Koronales Kanaldrittel

Die geringsten Reste im koronalen Drittel waren in der Gruppe M_{two} mit Lösungsmittel (26,7%) zu verzeichnen. In aufsteigender Reihenfolge folgten die Gruppen $RaCe$ ohne Lösungsmittel (30,1%), M_{two} ohne Lösungsmittel (31,7%) und $RaCe$ mit Lösungsmittel (49,8%). Die Unterschiede waren nicht signifikant.

6.6.2 Wurzelkanalfüllmaterialreste im gesamten Wurzelkanal im Gruppenvergleich

Die Summe aller Reste bezogen auf den Gesamtkanal wies im Gruppenvergleich ebenfalls sowohl in der einfaktoriellen ANOVA als auch im multifaktoriellen Tamhane-Test signifikante Unterschiede auf. So waren in der Gruppe 1 (M_{two} ohne Lösungsmittel) mit 30% bedeckter Kanaloberfläche signifikant weniger Füllmaterialreste vorhanden als in der Gruppe 4 ($p = 0,026$, 52,8%). Auch nach Instrumentierung mit M_{two} mit Lösungsmittel (33,6%) sowie die $RaCe$ ohne Lösungsmittel (34,8%)

hinterließen weniger Füllmaterialreste im gesamten Kanal als die *RaCe* mit Lösungsmittel, jedoch waren diese Differenzen nicht signifikant.

6.6.3 Vergleich der verbliebenen Wurzelkanalfüllmaterialreste in den einzelnen Kanalabschnitten innerhalb einer Gruppe

Ergebnisse M_{two} ohne Lösungsmittel (Gruppe 1)

Der Vergleich der Reste in den einzelnen Kanaldritteln innerhalb der Gruppe „ M_{two} ohne Lösungsmittel“ wies im Wilcoxon-Test keine signifikanten Unterschiede auf.

In dieser Gruppe verblieben im apikalen Kanaldrittel die meisten Reste mit durchschnittlich 35,5%, es folgte das koronale Drittel mit 31,7% und schließlich das mittlere Drittel mit 29,5%.

Ergebnisse M_{two} mit Lösungsmittel (Gruppe 2)

Der Vergleich der Reste innerhalb der Gruppe „ M_{two} mit Lösungsmittel“ wies signifikante Unterschiede zwischen dem apikalen (51,6% bedeckte Kanaloberfläche) und dem mittleren (33% bedeckte Kanaloberfläche, Wilcoxon-Test: $p = 0,019$), sowie zwischen dem apikalen und dem koronalen (26,7% bedeckte Kanaloberfläche, Wilcoxon-Test: $p = 0,005$) Kanaldrittel auf. Das apikale Kanaldrittel wies demnach signifikant mehr Materialreste als das mittlere und das koronale Drittel auf.

Ergebnisse *RaCe* ohne Lösungsmittel (Gruppe 3)

In der Gruppe *RaCe* ohne Lösungsmittel waren keine Signifikanzen zwischen den Kanaldritteln nachweisbar. Die beste Reinigungsleistung zeigte sich im koronalen Drittel mit 30,1% bedeckter Fläche, es folgten in aufsteigender Reihenfolge das mittlere Drittel (38,9%) und letztlich das apikale Drittel mit den meisten Resten (42,8%).

Ergebnisse *RaCe* mit Lösungsmittel (Gruppe 4)

In der Gruppe *RaCe* mit Lösungsmittel waren ebenfalls keine Signifikanzen zwischen der Menge verbliebener Materialreste in den einzelnen Kanaldritteln zu finden. Die meisten Materialreste verblieben im mittleren Drittel (55,8%), es folgten in absteigender Reihenfolge das apikale Drittel (52,7%) und das koronale Drittel (49,8%).

6.7 Vergleich der verbliebenen Wurzelkanalfüllmaterialreste nach dem zweiten Revisionsschritt

6.7.1 Wurzelkanalfüllmaterialreste in den einzelnen Kanalabschnitten im Gruppenvergleich

Im zweiten Revisionsschritt lagen entsprechend der statistischen Auswertungen mit der einfaktoriellen ANOVA in allen Wurzelkanaldritteln signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Revisionsgruppen vor (Abb. 14).

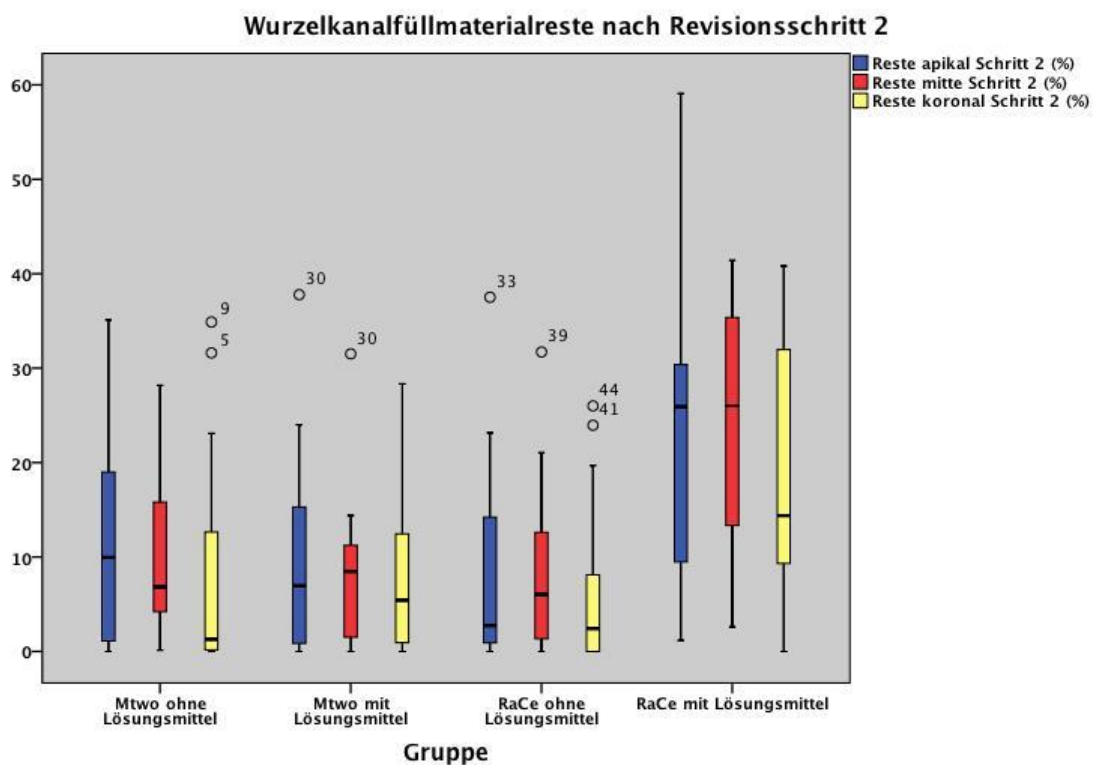


Abbildung 14: Wurzelfüllreste in den Wurzelkanaldritteln nach Aktivierung (Revisionsschritt 2) im Gruppenvergleich

Apikales Kanaldrittel

Die besten Revisionsergebnisse im apikalen Wurzelkanaldrittel konnten mit dem *RaCe*-System ohne Lösungsmittel in Gruppe 3 (2,7%) erzielt werden. Das zweit- und drittbeste Resultat erzielte das *Mtwo*-System mit (4,1%) respektive ohne Lösungsmittel (4,8%). Die meisten Wurzelfüllreste wurden in der Revisionsgruppe 4 *RaCe* mit

Lösungsmittel (14,2%) gemessen. Die in der einfaktoriellen ANOVA berechneten signifikanten Unterschiede konnten mit dem Tamhane-Test nicht bestätigt werden.

Mittleres Kanaldrittel

Im mittleren Wurzelkanaldrittel zeigte das Aufbereitungssystem M_{two} mit Lösungsmittel (8,5%) die besten Ergebnisse. Es folgten mit absteigender Effizienz die Systeme *RaCe* ohne Lösungsmittel (9,3%), M_{two} ohne Lösungsmittel (9,7%) und *RaCe* mit Lösungsmittel (23,6%). Hierbei waren die Unterschiede zwischen den Gruppen M_{two} ohne Lösungsmittel und *RaCe* mit Lösungsmittel ($p=0,015$, mittlere Abweichung: 13,8 %), sowie *RaCe* mit Lösungsmittel und M_{two} mit Lösungsmittel ($p=0,006$, mittlere Abweichung: 15, 1 %) entsprechend des Tamhane-Tests signifikant.

Koronales Kanaldrittel

Die besten Ergebnisse im koronalen Drittel wurden mit dem System *RaCe* ohne Lösungsmittel (6,5%) erzielt. Es folgten ohne signifikante Unterschiede die Systeme M_{two} mit (8%) und ohne Lösungsmittel (8,3%). Ein signifikant schlechteres Ergebnis gegenüber *RaCe* ohne Lösungsmittel wurde in Gruppe 4 beim Einsatz der *RaCe* mit Lösungsmittel (19,2%) gemessen (Tamhane, $p=0,041$, mittlere Abweichung: 12,7 %).

6.7.2 Wurzelkanalfüllmaterialreste im gesamten Wurzelkanal im Gruppenvergleich

Auch die Summe aller Reste im Gesamtkanal wiesen sowohl in der einfaktoriellen ANOVA, als auch im Tamhane-Test signifikante Unterschiede auf. So war die *RaCe* mit Lösungsmittel (20,8%) signifikant schlechter als alle drei Vergleichsgruppen. Das beste Ergebnis zeigte die *RaCe* ohne Lösungsmittel (7,1% bedeckte Kanaloberfläche, $p = 0,009$). Es folgten in absteigender Reihenfolge die M_{two} mit Lösungsmittel (8,7% bedeckte Kanaloberfläche, $p = 0,02$) und die M_{two} ohne Lösungsmittel ($p = 0,033$, 9,2% bedeckte Kanaloberfläche). Die Ergebnisse dieser drei Gruppen wiesen jedoch untereinander keine signifikanten Unterschiede auf.

6.7.3 Vergleich der verbliebenen Wurzelkanalfüllmaterialreste in den einzelnen Kanalabschnitten innerhalb einer Gruppe

Nach dem zweiten Revisionsschritt gab es innerhalb keiner der Gruppen signifikante Unterschiede zwischen den Kanalabschnitten hinsichtlich ihrer Restkontamination.

***M_{two}* ohne Lösungsmittel (Gruppe 1)**

Die meisten Materialreste befanden sich im apikalen Drittel (11,5%). Es folgten in aufsteigender Reihenfolge bezüglich der Revisionseffizienz das mittlere Drittel (9,7% bedeckte Kanaloberfläche) und das koronale Drittel mit den besten Ergebnissen (8,3% bedeckte Kanaloberfläche).

***M_{two}* mit Lösungsmittel (Gruppe 2)**

Auch diese Revisionsmethode zeigte im apikalen Drittel die geringste Reinigungseffizienz (10,1% bedeckte Kanaloberfläche) und im koronalen die besten Ergebnisse (8% bedeckte Kanaloberfläche). Im mittleren Drittel waren durchschnittlich 8,5% der Kanaloberfläche noch mit Obturationsmaterial kontaminiert.

***RaCe* ohne Lösungsmittel (Gruppe 3)**

Diese Methode hatte im Vergleich zu den anderen Gruppen als einzige im mittleren Drittel die geringste Reinigungseffizienz (9,3% bedeckte Kanaloberfläche). Es folgte das apikale Drittel mit 9% bedeckter Kanaloberfläche und das koronale Drittel mit 6,5% kontaminierter Fläche.

***RaCe* mit Lösungsmittel (Gruppe 4)**

Die Reinigungseffizienz innerhalb dieser Gruppe nahm von apikal nach koronal zu. Im apikalen Drittel waren durchschnittlich noch 24,6% der Kanaloberfläche bedeckt, im mittleren Drittel 23,6% und koronal 19,2%.

6.8 Vergleich der Revisionseffizienz nach dem ersten und zweiten Revisionsschritt

In allen Wurzelkanaldritteln waren die Revisionsergebnisse nach dem zweiten Revisionsschritt signifikant besser als die Ergebnisse nach dem ersten Revisionsschritt (Abb. 8-11 und 15; Friedman-Test: M_{two} ohne Lösungsmittel $p=0,001$, M_{two} mit Lösungsmittel $p=0,000$, $RaCe$ ohne Lösungsmittel $p=0,000$, $RaCe$ mit Lösungsmittel $p=0,000$).

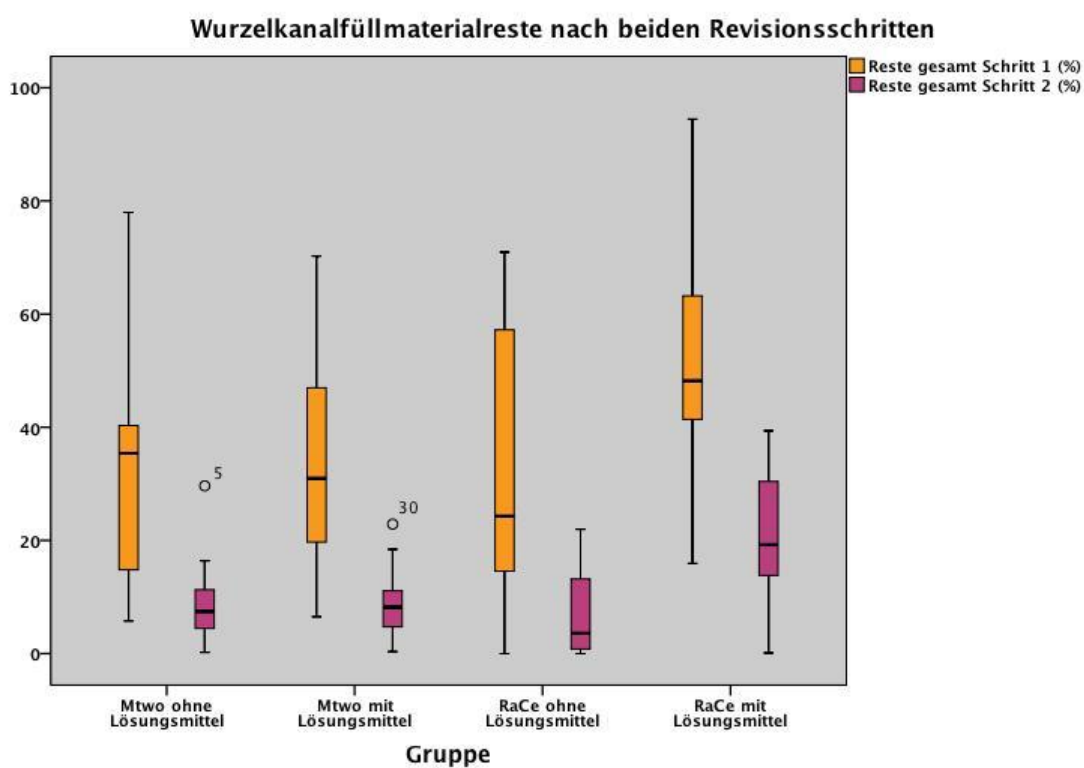


Abbildung 15: Wurzelfüllreste im Gesamtkanal nach dem ersten und zweiten Revisionsschritt im Gruppenvergleich

7 Diskussion

7.1 Diskussion der Methodik

7.1.1 Auswahl der Proben

In dieser *In-vitro*-Studie wurden in Anlehnung an zahlreiche vorangegangene Studien menschliche Zähne zur Simulation der klinischen Situation verwendet. Untersucht wurden 60 Zähne mit ovalen Wurzelquerschnitten und einer Wurzellänge von mindestens 10 mm. Durch die Entfernung der Zahnkronen wurde einerseits eine Standardisierung der Wurzellänge und andererseits durch die somit erfolgte Eliminierung beeinflussender Variablen, wie zum Beispiel der Kronenanatomie, auch eine Standardisierung der Wurzelkanalzugänglichkeit erreicht (Dall'Agnol *et al.* 2008, Chauhan *et al.* 2012).

7.1.2 Instrumentierung

Die Aufbereitung der Proben erfolgte zunächst koronal mit Hilfe von Gates-Glidden-Bohrern der Größen 3, 2 und 1 in Crown-down-Technik und im Bereich des mittleren und apikalen Drittels mit Hilfe des *M_{two}*-Aufbereitungssystems entsprechend der Herstellerangaben in Single-length-Technik. Die maschinelle Aufbereitungsmethode ist auf Grund ihrer weiten Verbreitung ein repräsentatives Verfahren und zeigt durch die verhältnismäßig einfache und standardisierte Anwendung Ergebnisse, welche weniger von der Individualität des Behandlers abhängig sind und somit eine bestmögliche Vergleichbarkeit gewährleisten (Bergmans *et al.* 2001).

Nach Spülung der Kanäle mit NaOCl (3%) und EDTA (15%) zur Entfernung des Smear layers als Voraussetzung für einen besseren Verbund zwischen Sealer und Dentin erfolgte die Füllung der Wurzelkanäle (Masiero und Barletta 2005, Só *et al.* 2008, Takahashi *et al.* 2009, Bramante *et al.* 2010, da Silva *et al.* 2012).

7.1.3 Obturation

Die Wurzelkanalfüllung erfolgte mittels lateraler Kompaktion. Diese Kompaktionstechnik in Kombination mit Guttaperchapoints und einem Wurzelkanalsealer stellt die heute am weitesten verbreitete Methode der Wurzelkanalobturation dar und gilt als Standard unter den Kaltfülltechniken (Dall'Agnol *et al.* 2008, Chauhan *et al.* 2012). Aufgrund der derzeit häufigen Anwendung dieser Technik werden mittels lateraler Kompaktion obturierte Wurzelkanäle auch zukünftig im Rahmen von Revisionsbehandlungen eine hohe Prävalenz aufweisen und besitzen somit eine hohe klinische Relevanz. Zahlreiche Studien zeigten, dass diese Wurzelfülltechnik eine relativ dichte, kompaktierte und homogene Wurzelfüllung selbst ovaler Wurzelkanalquerschnitte gewährleistet (De-Deus *et al.* 2008). In diesem Sinne wurden die im Rahmen dieser Studie zu revidierenden Wurzelkanäle entsprechend des aktuellen Goldstandards (DGZMK) mit Guttapercha und dem epoxidharzbasierten Sealer *AH Plus* gefüllt. *AH Plus* hat aufgrund seiner starken Dentinhaftung ein großes Abdichtungspotential des Kanallumen zu seiner Umgebung mit einer deutlichen Reduktion der bakteriellen Leckage (Kopper *et al.* 2003, Nunes *et al.* 2008, Pereira *et al.* 2007).

7.1.4 Lagerung

Der Lagerungszeitraum von 2 Monaten in feuchtem Milieu wurde in Anlehnung an Mittelwerte vorangegangener Studien gewählt, um eine vollständige Aushärtung des Wurzelfüllmaterials unter Simulation intraoraler Bedingungen zu erreichen. In früheren In-vitro-Studien reichten die Lagerungszeiten zwischen Wurzelkanalfüllung und Beginn der Revision von einem Tag, über 510 Tage, bis hin zu sechs Jahren (Bertrand *et al.* 1997, Baldassari-Cruz und Wilcox 1999, Duarte *et al.* 2010).

In den meisten Fällen jedoch wurden die vorbehandelten Zähne für ein bis sechs Monate zwischengelagert.

Die zufällige Aufteilung der wurzelkanalgefüllten Zähne erfolgte aus statistischen Gründen in Gruppen mit $n=15$ (da Silva *et al.* 2012). In vorangegangenen Studien lagen die Gruppengrößen meist zwischen $n=10$ (Scelza *et al.* 2008, Takahashi *et al.* 2009, Fariniuk *et al.* 2011) und $n=20$ (Dall'Agnol *et al.* 2008). In der Statistik gelten Gruppenstärken von $n>12$ als große Gruppen, daher wurden die Gruppengrößen in dieser Studie von $n=15$ festgelegt. Die Poweranalyse mittels G-Power (Universität Düsseldorf) zeigte, dass zur Feststellung signifikanter Unterschiede Gruppengrößen von $n=120$ bis $n=180$ notwendig wären. Eine derartig hohe Menge an Zähnen, welche

die erforderlichen Kriterien für eine solche Art der Untersuchung erfüllt und zudem anatomisch vergleichbare Eigenschaften aufweist, ist praktisch nicht verfügbar. Insofern wurde aufgrund der Komplexität, die bei der Bearbeitung solch großer Gruppenstärken notwendig wäre, und in Anlehnung an vergleichbare vorangegangene Arbeiten darauf verzichtet.

7.1.5 Revisionsschritt 1

Das Ziel dieser Studie war es, die maschinellen NiTi-Aufbereitungssysteme *D-RaCe* und *M_{two}* Retreatment Files mit oder ohne die Verwendung eines Lösungsmittels hinsichtlich Instrumentierungsdauer und Revisionseffizienz zu vergleichen.

Die Benutzung rotierender Nickel-Titan-Instrumente wurde aufgrund ihrer Sicherheit, Effizienz und Zeitersparnis in der Entfernung von Guttapercha und Sealer während der Revision meist empfohlen (Schirrmeister *et al.* 2006b-d, Saad *et al.* 2007, Tasdemir *et al.* 2008, Gu *et al.* 2008, Bramante *et al.* 2010, Fariniuk *et al.* 2001, Fariniuk *et al.* 2011, Mollo *et al.* 2012). Der zusätzliche Einsatz eines Lösungsmittels wird dagegen kontrovers diskutiert. Möglicherweise kommt es zu einer Potenzierung negativer Einflüsse durch den kombinierten Einsatz von Lösungsmittel und rotierenden Aufbereitungssystemen, da beide Faktoren die Entstehung einer Schmierschicht begünstigen (Sae-Lim *et al.* 2000, Takahashi *et al.* 2009, Fariniuk *et al.* 2011). Andere Studien wiederum beschrieben den Einsatz eines Lösungsmittels als vorteilhaft hinsichtlich Revisionszeit und -effizienz (Hülsmann 2004). Das in dieser Studie eingesetzte Eukalyptusöl wurde dem hinsichtlich der Erweichung der Wurzelkanalfüllmaterialien als effizienter geltenden Lösungsmittel Chloroform vorgezogen, da letzteres eine potenzielle Kanzerogenität besitzt (Scelza *et al.* 2006). Chloroform wird zudem in Europa für endodontische Revisionsbehandlungen nicht als Lösungsmittel empfohlen, weshalb Ergebnisse diesbezüglich eine geringere klinische Relevanz haben. Darüber hinaus kommt es unter Anwendung des schnell verdampfenden Chloroforms zur Ausfällung und folglich zum Niederschlag von Guttapercha und Sealer an den Kanalwänden. Im Gegensatz hierzu bleiben beim Einsatz von Eukalyptusöl sowohl Guttapercha- als auch Sealerreste im Lösungsmittel gelöst und befinden sich zudem aufgrund der unterschiedlichen Dichten von Wasser und Öl im oberflächlichen lipophilen Verteilungsvolumen der durch das Nachspülen temporär entstehenden biphasischen Wurzelkanalflüssigkeit und lassen sich somit einfacher entfernen.

In dieser Studie erfolgte die Instrumentierung der Kanäle in Gruppe 1 mit dem M_{two} -System, in Gruppe 2 ebenfalls mit dem M_{two} -System unter Zugabe des Lösungsmittels Eukalyptusöl, in der Gruppe 3 mit dem *D-RaCe*-System und in Gruppe 4 wiederum mit dem *D-RaCe*-System unter zusätzlicher Gabe von Eukalyptusöl. Die Zeiten „Erreichen der Arbeitslänge“, „Instrumentierungszeit gesamt“ und „Revisionsdauer gesamt“, welche sich aus der „Instrumentierungszeit gesamt“, Spül- und Trocknungszeit zusammensetzt, wurden mit Hilfe einer Stoppuhr erfasst.

7.1.6 Revisionsschritt 2

Die Reposition der Wurzelkanalhälften erfolgte mittels *Tetric Flow* und Repositionsschablonen, welche mit Hilfe von Tiefziehfolien angefertigt wurden. Auf in vorangegangenen Studien verwendete, geteilte Polyurethanblöcke zur Reposition wurde verzichtet, da lediglich eine Aktivierung mit zuvor untersuchter Effizienz erfolgte, um eine der klinischen Praxis entsprechende Aktivierung zu erzielen. Darüber hinaus bietet die durchsichtige Tiefziehfolie eine optische Kontrolle der exakten Reposition.

Ziel des zweiten Revisionsschrittes war es, nach klinisch sowohl zeitlich als auch im Praxisalltag einsetzbaren Optionen zur Steigerung der Revisionseffizienz zu suchen. Bisher wurden signifikant bessere Aufbereitungsergebnisse nach Aufbereitung um mindestens zwei ISO-Größen über die AMF hinaus belegt. Da diese Methode jedoch vor allem bei der Revision von Kanälen mit großen initialen Aufbereitungsgrößen mit einer zusätzlichen Schwächung der Wurzelsubstanz einhergeht, sowie insbesondere bei ovalen Kanälen mit einer erhöhten Perforationsgefahr korreliert, sollte nach alternativen Möglichkeiten gesucht werden (Roggendorf *et al.* 2010).

Versuche, die Revisionsergebnisse in einem zweiten Revisionsschritt mittels *EndoActivator* in Kombination mit einem Lösungsmittel oder mittels Einsatz von *EndoExpress* und Handfeilen zu optimieren, liegen bislang noch nicht vor.

Studien zur Wirksamkeit des *EndoActivators* liegen ausschließlich in Kombination mit Spüllösungen vor (Gregorio *et al.* 2009, Caron *et al.* 2010). Aufgrund der in diesem Zusammenhang festgestellten besseren Reinigungsergebnisse wurde eine mögliche Erhöhung der Effizienz in Verbindung mit einem Lösungsmittel vermutet. Eine Effizienzsteigerung durch eine alleinige längere Einwirkzeit eines Lösungsmittels wurde in vorliegenden Studien widerlegt. Erdemir *et al.* zeigten, dass auf Epoxidharz basierende Sealer wie *AH Plus* und *AH 26* auch nach einer Expositionszeit von 30 Minuten noch lösungsmittelresistent sind (Erdemir *et al.* 2003).

Im zweiten Revisionsschritt erfolgte daher in den zuvor unter Einsatz von Eukalyptusöl revidierten Gruppen die Aktivierung des wiederholt eingesetzten Lösungsmittels per *EndoActivator*.

Die im Rahmen dieser Studie durchgeführten Vorversuche zeigten nach zwei Minuten visuell deutlich sichtbare Effekte des Lösungsmittels auf die Guttapercha. Daher wurde das in die Wurzelkanäle applizierte Eukalyptusöl für zwei Minuten belassen, bevor es eine Minute lang mittels *EndoActivator* aktiviert wurde. Nach anschließend wiederholter Zugabe von Lösungsmittel und erneuter Einwirkdauer von einer Minute erfolgte die nochmalige Aktivierung mittels *EndoActivator*.

Für die während des ersten Revisionsschritts nicht mit Lösungsmittel behandelten Zähne sollte auch im zweiten Revisionsschritt eine lösungsmittelfreie Methode gefunden werden. Auf den Einsatz einer Flüssigkeit als notwendige Voraussetzung zur Übertragung der Schallaktivierung auf die Kanalwand konnte jedoch aus methodischen Gründen nicht verzichtet werden. Die verwendete NaCl-Lösung wurde NaOCl als möglicher Alternative vorgezogen, da die Studienlage auch für NaOCl hinsichtlich seiner Auswirkungen auf die Biegefestigkeit und die Mikrohärtigkeit des Dentins kontrovers ist (Pascon *et al.* 2009, Ari und Erdemir 2005).

Entsprechend der Ergebnisse der daraufhin durchgeführten Vorversuche erfolgte eine einminütige Aktivierung mittels 0,9% NaCl-Lösung und *EndoExpress* mit K-Feilen (Reamer) ISO .02/#30 bei 2.500 Oszillationen pro Minute (OpM). Anschließend wurde der Kanal erneut vollständig mit NaCl-Lösung 0,9% gefüllt und eine weitere Minute mit dem *EndoExpress*-Winkelstück und der K-Feile aktiviert. Die Feilen wurden dabei jeweils drucklos an den Kanalwänden entlang geführt, um einen zusätzlichen Dentinabtrag oder eine Veränderung der Kanal Anatomie zu vermeiden.

7.1.7 Auswertung und Beurteilung der Revisionseffizienz

Nach Abschluss des ersten Revisionsschrittes wurden die Zähne mit Hilfe einer diamantierten Trennscheibe vertikal getrennt, sodass beide Wurzelkanalhälften direkt der mikroskopischen Aufnahme und Auswertung zugänglich waren.

Die Messung der Revisionsergebnisse erfolgte sowohl nach dem ersten als auch nach dem zweiten Revisionsschritt mit Hilfe eines Lichtmikroskops bei 10-facher Vergrößerung nach Markierung der drei Segmente „apikales“, „mittleres“ und „koronales Drittel“ mit Hilfe eines Skalpell und Bleistift. Die Methoden der vertikalen Teilung, sowie der lichtmikroskopischen Darstellung kamen bereits in zahlreichen vorangegangenen Studien zur Anwendung und stellten sich als eine sehr zuverlässige

Methode dar (Baratto Filho *et al.* 2002, Masiero *et al.* 2005, Gergi *et al.* 2007, Tasdemir 2008, Gu *et al.* 2008, Takahashi *et al.* 2009). Im Gegensatz zu radiologischen Auswertungstechniken, wie der konventionellen Röntgenaufnahme oder der Computertomographie, ist die Lichtmikroskopie schnell und einfach umsetzbar und die Ergebnisse sind direkt auswertbar. Weitere Vorteile der Lichtmikroskopie sind die farbige Darstellung der Proben mit guter Kontrastierung und hoher Auflösung, welche eine eindeutige Identifizierung von Füllmaterialresten und, über die Untersuchungen dieser Studie hinaus, auch die Unterscheidung von Sealer- und Guttapercharesten ermöglicht. Es konnte gezeigt werden, dass die Mikroskopie im Gegensatz zu konventionellen Röntgenaufnahmen bei der Beurteilung von Materialresten im Wurzelkanal eine höhere Spezifität aufweist. In vorangegangenen Studien wurde festgestellt, dass sich unter mittels konventioneller Röntgendiagnostik in zwei Ebenen als negativ beurteilten Proben in der REM-Auswertung (Cunha *et al.* 2007) und der lichtmikroskopischen Auswertung dennoch Proben mit Resten verbliebenen Wurzelfüllmaterials nachweisen ließen (Kfir *et al.* 2012). Auch Duarte und Schirrmeister werteten ihre Ergebnisse sowohl radiologisch als auch mikroskopisch aus und stellten fest, dass die mikroskopische Analyse effektiver in der Auswertung von Wurzelfüllungsresten ist (Schirrmeister *et al.* 2006a, Duarte *et al.* 2010).

Insbesondere das REM hatte sich in verschiedenen Studien als vorteilhaft für die bildliche Darstellung von Wurzelkanalobturationsresten bewährt (Scelza *et al.* 2008, Horvarth *et al.* 2009). Allerdings gestattet diese Analysetechnik keine wiederholte Darstellung von Proben zwischen den entsprechenden Revisionsschritten, da die Proben im Normalfall hierfür besputtert werden müssen und somit für einen weiteren Revisions- oder Aktivierungsschritt nicht mehr geeignet sind. Eine mögliche Alternative hierfür wäre die Nutzung eines Niedrigvakuums-REMS, wobei auf das Besputtern der Proben verzichtet werden kann. Als problematisch hierbei erweist sich jedoch die Tatsache, dass einerseits die Abbildungsqualität reduziert ist, was die Aussagekraft einschränkt, und andererseits eine Kontamination des Sensors durch das eingesetzte Lösungsmittel nicht ausgeschlossen werden kann.

Die Beurteilung der revidierten Kanäle anhand von 3D-Darstellungen durch das Mikro-CT (Hammad *et al.* 2008, Roggendorf *et al.* 2010) oder CT (Dall'Agnol *et al.* 2008) ist im Vergleich zur Mikroskopie sehr zeitaufwändig und kostenintensiv (Barletta *et al.* 2007, Roggendorf *et al.* 2010) und eine genauere Darstellung von dem Auflösungsvermögen des Mikro-CTs abhängig. Dabei führen höchstauflösende Mikro- oder Nano-CTs zu äußerst langwierigen Scanzeiten und zu nicht mehr regulär praktikablen Dateigrößen. Zudem lassen sich nur extrem kleine Proben mit dieser

hohen Auflösung scannen, so dass diese Verfahren für den routinemäßigen Einsatz eher ungeeignet sind.

Trotz der genannten Vorteile der Lichtmikroskopie gegenüber den alternativen Methoden muss eine mögliche Limitation dieser Visualisierungsmethode durch verfahrensbedingte Artefakte, begründet durch die Aufhebung der Kanalanatomie und mögliche Füllmaterialverlagerungen beim Trennen der Zähne als Voraussetzung für die lichtmikroskopische Aufnahme in Betracht gezogen werden (Dall'Agnol *et al.* 2008). Zur objektiven Auswertung wurden die Flächen des Wurzelkanals sowie die von Wurzelfüllmaterial bedeckten Flächen mit der Auswertungs-Software QWin in Quadratmillimetern (mm^2) berechnet. Ähnliche Revisionsstudien (Friedman *et al.* 1992, Bertrand *et al.* 1997, Bramante *et al.* 2000, Hülsmann *et al.* 2004, Schirrmeister *et al.* 2006a und Bodrumlu *et al.* 2008) bewerteten die Reste des Wurzelkanalfüllmaterials an Hand einer eigens erstellten Bewertungsskala, die je nach Untersucher subjektive Ergebnisse zulässt. Die Erfassung der Menge verbliebener Materialreste erfolgte in der vorliegenden Studie durch die Summe der bedeckten Wurzelkanalanaloberfläche, anstatt durch die Erfassung verbliebener Materialvolumina, da sich die Auswertung in Flächenmaßen als überlegener Indikator für die Revisionseffizienz darstellte. Bei der Volumenerfassung handelt es sich in diesem Zusammenhang oft um sehr kleine Zahlenwerte, welche aufgrund der Darstellung über Pixel kaum unterscheidbar sind (Hammad *et al.* 2008).

Die Aufbereitung, die Obturation, die Revision und die abschließende Auswertung der Proben wurden jeweils von einem einzigen Untersucher durchgeführt, um die Anzahl möglicher Variablen und untersucherabhängiger Fehlerquellen gering zu halten (Roggendorf *et al.* 2010). Der Untersucher dieser Studie arbeitete verblindet und die Zuteilung der Proben zu den jeweiligen Revisionstechniken erfolgte randomisiert. In der Studie von Marfisi *et al.* erfolgte die Auswertung lichtmikroskopischer Aufnahmen mit Hilfe einer Bewertungsskala durch drei verschiedene Untersucher (Marfisi *et al.* 2010).

7.2 Diskussion der Ergebnisse Revisionsschritt 1

Der Vergleich der benötigten Dauer zum Erreichen der Arbeitslänge zeigte signifikant kürzere Zeiten der M_{two} -Feilen mit oder ohne Lösungsmittel gegenüber der $D-RaCe$ mit Lösungsmittel. Auch die $D-RaCe$ ohne Lösungsmittel war langsamer als die M_{two} -Feilen, jedoch nicht signifikant. Diese Messunterschiede dürften systembedingt sein, da die M_{two} das effektivere Instrument ist und im Gegensatz zur $D-RaCe$ durch das

aktive Schneidendesign eine leichtere Penetration der Guttapercha auch im apikalen Wurzelbereich ermöglichte.

Die Auswertung der Ergebnisse ergab hinsichtlich der „Instrumentierungszeiten“ und der „Revisionszeiten gesamt“ keine signifikanten Unterschiede zwischen den untersuchten Gruppen. Möglicherweise wurde beim Einsatz des Lösungsmittel der Zeitvorteil, begründet durch die lösungsmittelbedingt einfachere Penetration der Guttapercha, durch die zeitaufwändige Entfernung des lösungsmittel- und feilenrotationsbedingt auftretenden Schmierfilm aufgehoben (Sae-Lim *et al.* 2000, Takahashi *et al.* 2009, Fariniuk *et al.* 2011).

Die Auswertung der mit Wurzelfüllmaterial bedeckten Kanaloberflächen im koronalen und apikalen Drittel ergab ebenfalls keine signifikanten Unterschiede. Im mittleren Drittel zeigte das M_{two} -Revisionssystem ohne Lösungsmittel signifikant bessere Ergebnisse als das *D-RaCe*-System mit Lösungsmittel. Bezogen auf den Gesamtkanal war die M_{two} ohne Lösungsmittel signifikant besser als die *D-RaCe* mit Lösungsmittel. Keine der gegenübergestellten Methoden konnte eine vollständige Reinigung der Kanalwände von Wurzelfüllmaterial erreichen. Diese Erkenntnis entspricht den Ergebnissen sämtlicher vorangegangener Studien zur Revisionseffizienz mittels verschiedener Methoden (Barrieshi-Nusair *et al.* 2002, Hammad *et al.* 2008, Dall'Agnol *et al.* 2008, Pirani *et al.* 2009, Marfisi *et al.* 2010, Chauhan *et al.* 2012, da Silva *et al.* 2012).

Es wurde in vorangegangenen Studien als nachteilig angesehen, während der ersten Wurzelkanalaufbereitung und der Revision das gleiche System zu verwenden, da somit systembedingt nicht zu instrumentierende Kanalbereiche während der Revision ebenfalls nicht zu reinigen sein würden (Dall'Agnol *et al.* 2008). Im Gegensatz hierzu hätte jedoch auch vermutet werden können, dass ein bei der Erstbehandlung durch ein bestimmtes System, im vorliegenden Fall durch das M_{two} -System, gut aufzubereitender Kanal bei einer wiederholten Behandlung durch das gleiche System aufgrund der bereits adaptierten Kanalforn besser zu reinigen sei, als durch ein neues System mit anderem Feilendesign.

Unterstützt wird diese Vermutung durch die Tatsache, dass in allen drei Kanalabschnitten durch das M_{two} -System die besten Ergebnisse erzielt wurden, während durch die *D-RaCe*/*RaCe*-System jeweils die meisten Materialreste verblieben. Signifikant waren die Unterschiede jedoch lediglich im mittleren Kanalabschnitt. Wiederum gegen diese Theorie spricht die Tatsache, dass die *D-RaCe* ohne Lösungsmittel keine signifikant schlechteren Ergebnisse als das M_{two} -System zeigte und somit die Unterschiede eher lösungsmittel- oder durch die Kombination der *D-RaCe* mit Lösungsmittel bedingt als feilensystemabhängig sind. Möglicherweise

könnten eventuelle Inkongruenzen zwischen dem ersten Aufbereitungssystem, M_{two} und dem Revisionssystem *D-RaCe* ohne Lösungsmittel weniger relevant in Erscheinung treten, da das nicht aufgeweichte Füllmaterial in Form von Materialstücken indirekt aus Bereichen entfernt wurde, ohne dass diese direkt von der *D-RaCe* instrumentiert wurden. Im Falle der *D-RaCe* mit Eukalyptusöl wäre eine Entfernung des gelösten und in Form eines Schmierfilms an der Kanalwand haftenden Materials aus diesen Bereichen kaum möglich.

Der vergleichsweise negative Einfluss von Lösungsmittel auf die Effizienz der *D-RaCe* in allen drei Kanalabschnitten könnte zusätzlich durch die typische Feilenkonfiguration bedingt sein. Die *D-RaCe*-Feile hat einen Dreikantquerschnitt mit einer größeren Kontaktfläche zu den Kanalwänden und einem kleineren Spanraum zum Abtransport von Dentinspänen und Füllmaterialien. Dieses Design könnte unter dem Einfluss des Lösungsmittels zum stärkeren Verschmieren des erweichten Guttaperchamaterials und dessen stärkeres Anpressen an die Kanalwände und in die Dentintubuli führen. Das alternierende Schneidekantendesign, welches ein Einschrauben des Instruments in den Wurzelkanal verhindert, führt hier also offensichtlich zu einer geringeren Abtragleistung. Das Prinzip der archimedischen Schraube kommt hier im Gegensatz zum Doppel-S-Design der M_{two} nicht in der gleichen Weise zur Wirkung.

Alle anderen Konstellationen zeigten weder vom Instrumentensystem noch vom Einsatz des Lösungsmittels abhängige Vor- oder Nachteile.

Der systeminterne Vergleich der einzelnen Kanaldrittel zeigt abgesehen von der Gruppe M_{two} mit Lösungsmittel keine signifikanten Unterschiede. Bei der M_{two} mit Lösungsmittel waren hingegen im apikalen Drittel signifikant mehr Materialreste als in den anderen beiden Dritteln zu finden. Da diese Unterschiede nach alleiniger Aktivierung mit dem *EndoActivator* unter erneuter Zugabe von Eukalyptusöl und ohne wiederholtes Instrumentieren mit Feilen und somit auch ohne weiteren Substanzabtrag im zweiten Revisionsschritt aufgehoben werden konnten, muss es sich bei den apikalen Residuen um bereits gelöste Materialreste gehandelt haben. Vermutlich hat sich Debris aus Obturationsmaterial in der angelösten Guttapercha festgesetzt und konnte aus den feinen apikalen Bereichen im ersten Revisionsschritt nicht entfernt, sondern vielmehr nur verschmiert werden. Diese Behauptung wird dadurch gestützt, dass auch in der *RaCe*-Gruppe mit Lösungsmittel die apikale Reinigungsleistung schlechter war als in den beiden Kontrollgruppen ohne Lösungsmittel und die *RaCe*-Gruppe mit Lösungsmittel insgesamt die schlechtesten Revisionswerte aller vier experimenteller Gruppen aufwies. Dass hier jedoch die Unterschiede zwischen den Regionen sich nicht signifikant voneinander unterschieden, dürfte in der durchweg schlechteren Reinigungsleistung der *D-RaCe* mit Lösungsmittel begründet sein.

Allerdings sollte diese Beobachtung nicht überinterpretiert werden, da dieser Fall lediglich in einem Vergleich festgestellt werden konnte und somit neben instrumentenspezifischen Ursachen auch geometrische, Lösungsmittelspezifische oder spülspezifische Gründe haben könnte.

7.3 Diskussion der Ergebnisse Revisionsschritt 2

Die Ergebnisse zeigten in allen Kanälen systemunabhängig signifikant bessere Revisionsergebnisse als nach dem ersten Revisionsschritt.

RaCe-Instrumente mit Lösungsmittel wiesen jedoch auch nach dem zweiten Revisionsschritt unter allen vier Gruppen die meisten Materialreste auf, was im mittleren und koronaren Kanaldrittel, sowie bezogen auf den Gesamtkanal signifikant war. *M_{two}*-Instrumente mit Lösungsmittel wiesen dagegen im Gruppenvergleich, vor allem im apikalen und signifikant im mittleren Kanaldrittel, bessere Ergebnisse auf als nach dem ersten Revisionsschritt. Als Gemeinsamkeit dieser beiden Gruppen dürfte sich nach dem ersten Schritt Lösungsmittelbedingt eine dünne Schmierschicht an den Kanälen befunden haben (Sae-Lim *et al.* 2000, Takahashi *et al.* 2009). Da es in beiden Lösungsmittel-Gruppen eine signifikante Steigerung hinsichtlich der Reinigungseffizienz durch den Einsatz des *EndoActivators* gab, wurden möglicherweise vor allem die in Form der Obturationsmaterialfilm verbliebenen Materialreste entfernt. In den mit *D-RaCe* instrumentierten Kanälen liegen jedoch gegebenenfalls, wie oben beschrieben, feilendesignbedingt nicht instrumentierte Kanalbereiche mit größeren Mengen verbliebenen Wurzelfüllmaterials vor, welche nicht allein durch den Einsatz des *EndoActivators* entfernt werden konnten und somit auch weiterhin eine signifikant höhere Restkontamination im Gruppenvergleich hervorrufen. Andererseits könnte es zur Verbolzung der nach dem ersten Revisionsschritt entstandenen und vor allem in der *D-RaCe*/Eukalyptusöl-Gruppe stark ausgeprägten Schmierschicht gekommen sein, welche durch den stumpfen und sehr flexiblen *EndoActivator*-Ansatz nur unzureichend zu entfernen war.

Auch in den mittels *EndoExpress* und Handfeilen erneut revidierten Gruppen zeigten sich allseits signifikant bessere Ergebnisse. Jedoch ist festzustellen, dass die *RaCe*-Gruppe ohne Lösungsmittel vergleichsweise mehr als die *M_{two}*-Gruppe ohne Lösungsmittel von diesem Schritt profitierte. Im Gruppenvergleich zeigten *RaCe*-Instrumente ohne Eukalyptusöl nun die besten Ergebnisse im apikalen und im koronalen Drittel und im mittleren Drittel die zweitbesten hinter der *M_{two}* mit Lösungsmittel. Möglicherweise wurden trotz der drucklosen Instrumentierung durch

den Einsatz der Handfeilen die bereits mehrfach diskutierten Kanalunregelmäßigkeiten, bedingt durch die Kanalaufbereitung mit Feilen unterschiedlichen Designs (initial M_{two} , erste Revision *D-RaCe*), teilweise behoben und Reste verbliebenen Füllmaterials entfernt. Eine durch Feilenabtrag bedingte Volumenzunahme der Wurzelkanalhälften konnte jedoch unter dem Lichtmikroskop nicht bestätigt werden.

Insgesamt war die Aktivierung mittels Eukalyptusöl und *EndoActivator* der Aktivierung mit *EndoExpress* und Handfeile nicht überlegen. Eventuelle könnten die Ergebnisse durch eine längere Einwirkzeit des Lösungsmittels noch optimiert werden.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse werden die anfangs aufgestellten Arbeitshypothesen wie folgt beurteilt:

Arbeitshypothese # 1:

„Die Revision von Wurzelfüllungen zeigt mit allen Techniken die vollständige Entfernung des Wurzelfüllmaterials.“

Alle Techniken wiesen in den Wurzelkanälen verbliebenes Füllmaterial auf. Die Hypothese wird **abgelehnt**.

Arbeitshypothese # 2:

„Die Revisionseffizienz zeigt keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Revisionsinstrumenten.“

Es wurden signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen hinsichtlich der Revisionseffizienz nachgewiesen. Somit wird diese Hypothese **abgelehnt**.

Arbeitshypothese # 3:

„Die Revisionsdauer ist unabhängig vom Einsatz eines Lösungsmittels.“

Es wurden keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Revisionsdauer zwischen den Gruppen mit Einsatz eines Lösungsmittels und den Gruppen ohne Einsatz eines Lösungsmittels festgestellt. Somit wird diese Hypothese **angenommen**.

Arbeitshypothese # 4:

„Der Einsatz von Lösungsmitteln führt nicht zu einer Erhöhung der Revisionseffizienz.“

Die unter Einsatz eines Lösungsmittels revidierten Gruppen wiesen keine günstigeren Revisionsergebnisse im Vergleich zu den ohne Lösungsmittel revidierten Gruppen auf.

Die Hypothese wird daher **angenommen**.

8 Schlussfolgerung

Zusammenfassend bestätigen die Ergebnisse dieser Studie, dass keine der getesteten Revisionsmethoden eine vollständige Reinigung des Wurzelkanals ermöglichte. Dennoch handelt es sich bei den maschinellen Revisionssystemen um effektive Techniken, wobei die M_{two} ohne Lösungsmittel die wenigsten Materialreste hinterließ und die $D-RaCe$ mit Lösungsmittel die meisten. Damit erwiesen sich der S-förmige Querschnitt und das scharfe Schneidendesign der M_{two} als ideal geeignet für das im Rahmen der Revision ovaler Wurzelkanäle erforderliche zirkumferrente Bearbeiten der Kanalwand. Die Revisionszeiten ergaben keine praxisrelevanten Unterschiede zwischen den Systemen, so dass hieraus keine Beurteilung der Revisionseffizienz gezogen werden kann.

Die durchgeführten Aktivierungen im Rahmen des zweiten Revisionsschritts stellen eine gute Alternative zu der in der Literatur empfohlenen intentionellen größeren Aufbereitung dar. Klinisch kommt diesen Methoden möglicherweise eine besondere Bedeutung zu, da die Schonung von Zahnhartsubstanz auch im Rahmen der endodontischen Revisionsbehandlung die langfristige Prognose des betroffenen Zahns hinsichtlich der Resistenz gegenüber Mikrorissen oder gar vertikalen Wurzelfrakturen verbessern dürfte.

9 Zusammenfassung

9.1 Hintergrund und Ziele

Bei derzeit fehlenden Möglichkeiten, einen Zahnverlust ästhetisch und funktionell vollwertig ersetzen zu können, liegt ein Schwerpunkt des klinischen Interesses auf der Erweiterung und Optimierung konservierender Therapien. In diesem Sinne hat die Wurzelkanal-behandlung sowie die Revision insuffizienter Wurzelfüllungen eine herausragende Bedeutung als Maßnahme zur Erhaltung avitaler Zähne. Das Ziel der endodontischen Revision ist die Wiederherstellung der periapikalen Integrität bereits wurzelkanalbehandelter Zähne mit klinischen oder radiologischen Befunden einer Parodontitis apicalis beziehungsweise die Prävention derselben. Das Procedere beinhaltet eine erneute chemo-mechanische Reinigung des Wurzelkanalsystems mit dichtem Verschluss des Kanallumens durch die Wurzelfüllung sowie die koronale Restauration (DGZMK-Stellungnahme). Im Rahmen dieser Studie sollten die beiden Revisionssysteme *D-RaCe* und *M_{two}*-Retreatment-Files hinsichtlich ihrer Revisions-effizienz in ovalen Wurzelkanälen untersucht und verglichen werden. Darüber hinaus wurde der Einfluss von Lösungsmittel sowie einer zusätzlichen experimentellen Aktivierungsmethode mittels *EndoActivator* beziehungsweise *EndoExpress* auf die Reinigungsleistung der beiden Feilensysteme analysiert.

9.2 Methoden

Die Untersuchungen wurden an 60 humanen, extrahierten Zähne mit geradem Wurzelverlauf und ovalem Wurzelquerschnitt durchgeführt. Nach Standardisierung der Wurzellänge mittels Dekoronation auf 10 mm erfolgten die Aufbereitung der Proben maschinell mit Hilfe des *M_{two}*-Systems unter strikter Beachtung der ovalen Kanalanatomie bis zur Größe .04/#40 und die Füllung der Wurzelkanäle mit Guttapercha-Points und AH Plus in lateraler Kompaktionstechnik. Nach anschließender Lagerung der Zähne für zwei Monate in 0,1%iger Thymollösung wurden die Proben randomisiert auf vier Gruppen (n=15) mit jeweils zwei Gruppen für das *D-RaCe*- und das *M_{two}*-Retreatment-System aufgeteilt. Jeweils eine der Gruppen pro Revisions-system wurde zusätzlich mit Eukalyptusöl revidiert. Die mechanische Aufbereitung der Kanäle erfolgte in allen Gruppen bis zur initialen Aufbereitungsgröße von .04/#40 unter

Erfassung der Revisionszeiten. Nach anschließender axialer Teilung der revidierten Wurzelkanalfüllungen erfolgte die Fotodokumentation der Wurzelhälften unter dem Lichtmikroskop bei 10-facher Vergrößerung sowie die elektronische Erfassung und Speicherung der Daten. Während des zweiten Revisionsschrittes wurden die zuvor mit Lösungsmittel behandelten Gruppen erneut mit Eukalyptusöl geflutet und das Lösungsmittel mit Hilfe des *EndoActivators* aktiviert. Die Wurzelkanäle der ohne Lösungsmittel revidierten Zähne wurden mit physiologischer NaCl-Lösung geflutet und mit Hilfe des *EndoExpress*-Handstücks und einer K-Feile ISO 30 aktiviert. Im Anschluss erfolgte die Evaluation der Proben hinsichtlich der prozentual mit Wurzelfüllresten bedeckten Kanaloberfläche anhand der lichtmikroskopischen Fotos sowie die statistische Auswertung aller erhobenen Daten mit der Software *SPSS 20.0* mittels nicht-parametrischer Tests.

9.3 Ergebnisse

Die Auswertung der experimentell vergleichenden Untersuchungen von *D-RaCe* und *M_{two}*-Revisionsfeilen in ovalen Wurzelkanälen zeigte sowohl nach dem ersten als auch nach dem zweiten Revisionsschritt signifikant mehr verbliebene Wurzelfüllreste in der Gruppe *D-RaCe* mit Eukalyptusöl als in den Vergleichsgruppen. Die höchste Revisionseffizienz nach dem ersten Revisionsschritt konnten mit dem *M_{two}*-System ohne Lösungsmittel erzielt werden. Nach dem zweiten Revisionsschritt zeigte sich die signifikant beste Reinigungsleistung in der *D-RaCe*-Gruppe ohne Lösungsmittel. Zwischen der Instrumentierungszeit und der Gesamtrevisionsdauer der einzelnen Feilensysteme konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

9.4 Praktische Schlussfolgerungen

Auch in der vorliegenden Studie konnte mit keinem der untersuchten Revisionsysteme eine vollständige Reinigung des Wurzelkanals erzielt werden. Dennoch wurde gezeigt, dass sich sowohl die *D-RaCe*- als auch die *M_{two}*-Retreatment-Feilen sehr gut zur Revision ovaler Wurzelkanäle eignen. Der zusätzliche Einsatz eines Lösungsmittels wies dabei hinsichtlich der Reinigungseffizienz beider Systeme keinen Vorteil auf, sondern wirkte sich teilweise sogar nachteilig auf diese aus. Des Weiteren konnte eine mögliche Alternative zur bisher proklamierten intentionellen größeren Aufbereitung

von Wurzelkanälen zur Erhöhung der Revisionseffizienz aufgezeigt werden. Die beschriebenen Aktivierungsmethoden zeigen dabei den Vorteil einer signifikanten Steigerung der Revisionseffizienz und reduzieren gleichzeitig die Gefahr einer zusätzlichen Wurzelschwächung oder einer Perforation.

10 Summary

10.1 Aim and Background

Due to the fact until now there do exist adequate alternatives to replace a tooth if necessary with similar aesthetic and functional aspects, research and treatment efforts are focused on the improvement of conservative treatment. Thus, root canal treatment and endodontic retreatment of non-vital teeth are become more and more important.

The aim of endodontic retreatment is the preservation or restitution of periapical health of endodontically treated teeth. This procedure includes a removal of the existing root canal filling, a proper chemomechanical treatment with filing and rinsing of the root canal system followed by a sufficient reobturation and functional coronal restoration (DGZMK-Stellungnahme).

The present study aimed to assess and to compare the retreatment efficiency of the two endodontic retreatment systems D-RaCe und M_{two} -retreatment files. Further, the effect of the use of a solvent (eucalyptol) and a sonic or reciprocating activation of *EndoActivator* or *EndoExpress* respectively to improve the retreatment efficiency was investigated.

10.2 Methods

60 extracted human teeth with straight root canals and oval canal cross section were used. Canal length was standardized by decoronation of the teeth resulting in a root length of 10 mm. Root canals were instrumented to .04/#40 using M_{two} instruments. Further, it was ensured that the instrumented root canals showed distinct oval canal cross sections. Root canals were obturated with gutta-percha points and AH Plus using the lateral compaction technique. Teeth were stored for two months in thymol 0,1% and were randomly assigned to one of the four experimental groups (n=15). Retreatment was performed with *D-RaCe*- and M_{two} retreatment system with and without the use of eucalyptol as solvent.

Canals were reinstrumented to the initial file size of .04/#40 and retreatment time was recorded. After longitudinal splitting the specimen were photographed under a microscope (10 x magnification) and digital images were stored for further investigation. Teeth were reassembled and underwent a second retreatment step using

activation. Root canals of the teeth in the solvent groups were filled with eucalyptol and the solvent activated using the *EndoActivator*. Root canals of the teeth in the non-solvent groups were filled with sodium chloride 0.9% and activation performed using an ISO 30 K file and the *EndoExpress* handpiece. The specimen were again separated and photographed. The microphotographs were investigated for residual obturation material and statistical analysis was computed with *SPSS 20.0* software using non-parametric tests.

10.3 Results

The investigation revealed significant more residual obturation material after both retreatment steps when oval canals were retreated with *D-RaCe* and *RaCe* instruments in combination with eucalyptol than in the other groups. After the first retreatment step the least percentage of residual obturation material was observed in the M_{two} group without solvent used. In contrast, the most efficient retreatment after the second retreatment step was observed in the *D-RaCe* group without solvent. Regarding the instrumentation time and total retreatment time no significant differences were detected.

10.4 Conclusion

The present study showed that no retreatment system and no activation allowed a complete retreatment of the root canal. However, the study indicated that both instrument systems allowed a sufficient retreatment of root canal fillings in oval root canals. In contrast to the anticipation the use of eucalyptol in combination with both retreatment instrument systems did not show any advantage but had an adverse effect. Nevertheless, the use of an activated K file was found to be a promising alternative to increased instrumentation of the root canal.

Both described activation techniques were found to raise the retreatment efficiency without additional weakening of the root dentine by increased instrumentation with potential risk of root perforations.

11 Literatur

1. Ari H, Erdemir A: Effects of endodontic irrigation solutions on mineral content of root canal dentin using ICP-AES technique. *J Endod* 31, 187-189 (2005)
2. Aydin B, Köse T, Çalışkan MK: Effectiveness of HERO 642 versus Hedstrom files for removing gutta-percha fillings in curved root canals: an ex vivo study. *Int Endod J* 42, 1050-1056 (2009)
3. Baldassari-Cruz LA, Wilcox LR: Effectiveness of gutta-percha removal with and without the microscope. *J Endod* 25, 627-628 (1999)
4. Baratto Filho F, Ferreira EL, Fariniuk LF: Efficacy of the 0.04 taper ProFile during the retreatment of gutta-percha-filled root canals. *Int Endod J* 35, 651-654 (2002)
5. Barletta FB, Rahde NM, Limongi O, Zanesco C, Mazocatto G: In vitro comparative analysis of two mechanical techniques for removing gutta-percha during retreatment. *J Can Dent Assoc* 73, 65 (2007)
6. Barletta FB, de Sousa Reis M, Wagner M, Borges JC, Dall'Agnol C: Computed tomography assessment of three techniques for removal of filling material. *Aust Endod J* 34, 101-105 (2008)
7. Barrieshi-Nusair KM: Gutta-percha retreatment: effectiveness of nickel-titanium rotary instruments versus stainless steel hand files. *J Endod* 28, 454-456 (2002)
8. Bergenholtz G, Lekholm U, Milthorpe R, Heden G, Odesjö B, Engström B: Retreatment of endodontic fillings, *Scand J Dent Res* 87, 217-224 (1979a)
9. Bergenholtz G, Lekholm U, Milthorpe R, Engström B: Influence of apical overinstrumentation and overfilling on re-treated root canals, *J Endod* 5, 310-314 (1979b)
10. Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P: Mechanical root canal preparation with NiTi rotary instruments: rationale, performance and

safety. Status report for the American Journal of Dentistry. Am J Dent 14, 324-333 (2001)

11. Bertrand MF, Pellegrino JC, Rocca JP, Klinghofer A, Bolla M: Removal of Thermafil root canal filling material. J Endod 23, 54-57 (1997)
12. Betti LV, Bramante CM: Quantec SC rotary instruments versus hand files for gutta-percha removal in root canal retreatment. Int Endod J 34, 54-57 (2001)
13. Betti LV, Bramante CM, De Moraes IG, Bernadineli N, Garcia RB: Comparison of GPX with or without solvent and hand files in removing filling materials from root canals – an ex vivo study. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 110, 675-680 (2010)
14. Bodrumlu E, Uzun O, Topuz O, Semiz M: Efficacy of three techniques in removing root canal fillings material. J Can Dent Assoc 74, 721 (2008)
15. Bramante CM, Betti LV: Efficacy of Quantec rotary instruments for gutta-percha removal. Int Endod J 33, 463-470 (2000)
16. Bramante CM, Fidelis NS, Assumpção TS, Bernardineli N, Garcia RB, Bramante AS, de Moraes IG: Heat release, time required, and cleaning ability of M_{two} R and ProTaper universal retreatment systems in the removal of filling material. J Endod 36, 1870-1873 (2010)
17. Caron G, Nham K, Bronnec F, Machtou P: Final Irrigant Activation Protocols for Smear Layer Removal in Curved Canals. J Endod 36, 1361–1366 (2010)
18. Chandra A: Discuss the factors that affect the outcome of endodontic treatment. Aust Endod J 35, 98-107 (2009)
19. Chauhan R, Tikku A, Chandra A: Detection of residual obturation material after root canal retreatment with three different techniques using a dental operating microscope and a stereomicroscope: An in vitro comparative evaluation, J Conserv Dent 15, 218-222 (2012)
20. Cheung GS: Endodontic failures--changing the approach. Int Dent J 46, 131-138 (1996)

21. Chong BS, Pitt Ford TR: Endodontic retreatment. 2: Methods. Dent Update 23, 384-387, 390 (1996)
22. Cunha RS, De Martin AS, Barros PP, De Silva FM, Jacinto Rde C, Bueno C: In vitro evaluation of the cleansing working time and analysis of the amount of gutta-percha or Resilon remnants in the root canal walls after instrumentation for endodontic retreatment. J Endod 33, 1426-1428 (2007)
23. Dahlén G, Möller ÅJR: Microbiology in endodontic infections. In: Slot J, Taubman MA, eds: Contemporary oral microbiology and immunology. St. Louis, MO, USA: Mosby Year Book, 444-475 (1992)
24. Dall'Agnol: Computed Tomography Assessment of the Efficiency of Different Techniques for Removal of Root Canal filling Material, Braz Dent J, 19, 306-312 (2008)
25. Marques da Silva B, Baratto-Filho F, Leonardi DP, Henrique Borges A, Volpato L, Branco Barletta F: Effectiveness of ProTaper, D-RaCe and M_{two} retreatment files with and without supplementary instruments in the removal of root canal filling material, Int Endod J (2012)
26. De Carvalho Marciel AC, Zaccaro Scelza MF: Efficacy of automated versus hand instrumentation during root canal retreatment: an ex vivo study. Int Endod J 39, 779-784 (2006)
27. de Chevigny C, Dao TT, Basrani BR, Marquis V, Farzaneh M, Abitbol S, Friedman S: Treatment outcome in endodontics: The Toronto study - Phase 3 and 4: Orthograde retreatment. J Endod 34, 131-137 (2008)
28. De-Deus G, Murad C, Paciornik S, Reis CM, Coutinho-Filho T: The effect of the canal-filled area on the bacterial leakage of oval-shaped canals. Int Endod J. 41,183-190 (2008)
29. De-Deus G, Souza EM, Barino B, Maia J, Zamolyi RQ, Reis C, Kfir A: The self-adjusting file optimizes debridement quality in oval-shaped root canals. J Endod 37, 701-705 (2011)

30. De Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Heilborn C, Cohenca N: Effect of EDTA, Sonic, and Ultrasonic Activation on the Penetration of Sodium Hypochlorite into Simulated Lateral Canals: An In Vitro Study. *J Endod* 35, 891-895 (2009)
31. De Oliveira DP, Barbizam JV, Trope M, Teixeira FB: Comparison between gutta-percha and Resilon removal using two different techniques in endodontic retreatment. *J Endod* 32, 362-364 (2006)
32. Duarte MA, Cimadon VB, Zucatto C, Vier-Pelisser FV, Kuga MC: Effectiveness of rotary or manual techniques for removing a 6-year-old filling material. *Braz Dent J* 21, 148-152 (2010)
33. Erdemir A, Adanir N, Belli S: In vitro evaluation of the dissolving effect of solvents on root canal sealers. *J Oral Sci* 45, 123-126 (2003)
34. Ezzie E, Fleury A, Solomon E, Spears R, He J: Efficacy of retreatment techniques for a resin-based root canal obturation material. *J Endod* 32, 341-344 (2006)
35. Fariniuk LF, Baratto-Filho F, Guerisoli DM, Barbizam JV, Pécora JD, Sousa-Neto MD: Modeling capacity of ENDOflash files in simulated root canals. *Braz Dent J* 12, 39-42 (2001)
36. Fariniuk LF, Westphalen VP, Silva-Neto UX, Carneiro E, Baratto Filho F, Fidel SR, Fidel RA: Efficacy of five rotary systems versus manual instrumentation during endodontic retreatment. *Braz Dent J* 22, 294-298 (2011)
37. Farzaneh M, Abitbol S, Friedman S: Treatment outcome in endodontics: The toronto study - Phase 1 and 2: Orthograde retreatment. *J Endod* 30, 627-633 (2004)
38. Ferreira JJ, Rhodes JS, Ford TR: The efficacy of gutta-percha removal using ProFiles. *Int Endod J* 34, 267-274 (2001)
39. Friedman S, Stabholz A, Tamse A: Endodontic retreatment – case selection and technique. 3. Retreatment techniques. *J Endod* 16, 543-549 (1990 a)

40. Friedman S, Moshonov J, Trope M: Efficacy of removing glass ionomer cement, zinc oxide eugenol, and epoxy resin sealers from retreated root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 73, 609-612 (1992)
41. Friedman S: Treatment outcome and prognosis of endodontic therapy. In: Ørstavik, D., Pitt Ford, T.T.(eds): *Essential Endodontology*. Blackwell Science, Oxford 1998, p. 367
42. Gergi R, Sabbagh C: Effectiveness of two nickel-titanium rotary instruments and a hand file for removing gutta-percha in severely curved root canals during retreatment: an ex vivo study. *Int Endod J* 40, 532-537 (2007)
43. Giuliani V, Cocchetti R, Pagavino G: Efficacy of ProTaper universal retreatment files in removing filling materials during root canal retreatment. *J Endod* 34,1381-1384 (2008)
44. Gilbert BO Jr, Rice RT: Re-treatment in endodontics. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 64, 333-338 (1987)
45. Gordon MP: The removal of gutta-percha and root canal sealers from root canals. *N Z Dent J* 101, 44-52 (2005)
46. Gorni FG, Gagliani MM: The outcome of endodontic retreatment: a 2-yr follow-up. *J Endod* 30, 1-4 (2004)
47. Gu, Ling, Wie, Huang: Efficacy of ProTaper universal rotary retreatment system for gutta-percha removal from root canals. *Int Endod J* 41, 288-295 (2008)
48. Gutmann JL, Witherspoon DE: Obturation of the cleaned and shaped root canal system In: Cohen S, Burns RC, eds. *Pathways of the pulp*, 8. Aufl., St. Louis: Mosby 293-364 (2002)
49. Haapasalo M, Ørstavik D: In vitro infection and disinfection of dental tubules. *J Dent Res* 66, 1375-1379 (1987)

50. Hammad M, Qualtrough A, Silikas N: Threedimensional evaluation of effectiveness of hand and rotary instrumentation for retreatment of canals filled with different materials. *J Endod* 34, 1370-1373 (2008)
51. Hassanloo A, Watson P, Finer Y, Friedman S: Retreatment efficacy of the Epiphany soft resin obturation system. *Int Endod J* 40, 633-643 (2007)
52. Hasselgren G: Where shall the root filling end? *NY State Dent J* 60, 34 (1994)
53. Horvath SD, Altenburger MJ, Naumann M, Wolkewitz M, Schirrmeister JF: Cleanliness of dentinal tubules following gutta-percha removal with and without solvents: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J* 42, 1032-1038 (2009)
54. Hülsmann M, Stryga F: Comparison of root canal preparation using different automated devices and hand instrumentation. *J Endod* 19, 141-145 (1993)
55. Hülsmann M: Epidemiologische Daten zur Endodontie (III). BRD; ehemalige DDR und abschließende Diskussion. *Endodontie* 5, 51 (1996)
56. Hülsmann M, Stotz S: Efficacy, cleaning ability and safety of different devices for gutta-percha removal in root canal retreatment. *Int Endod J* 30, 227-233 (1997)
57. Hülsmann M, Bluhm V: Efficacy, cleaning ability and safety of different rotary NiTi instruments in root canal retreatment. *Int Endod J* 37, 468-476 (2001)
58. Hülsmann M, Bluhm V: Efficacy, cleaning ability and safety of different rotary NiTi instruments in root canal retreatment. *Int Endod J* 37, 468-476 (2004)
59. IARC: International Agency for research of cancer. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans 7, 152-154 (1989)
60. Imura N, Kato AS, Hata GI, Uemura M, Toda T, Weine F: A comparison of the relative efficacies of four hand and rotary instrumentation techniques during endodontic retreatment. *Int Endod J* 33, 361-366 (2000)

61. Ingle JI: The need for uniformity of endodontic instruments, equipment and filling materials. *Int Dent J* 9, 389 (1959)
62. Ingle JI: The need for endodontic instrument standardization. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 8, 1211 (1955)
63. Jayasenthil A, Sathish ES, Prakash P: Evaluation of manual and two-rotary niti retreatment systems in removing gutta-percha obturated with two root canal sealers. *ISRN Dent* 208241 (2012)
64. Kfir A, Tsesis I, Yakirevich E, Matalon S, Abramovitz I: The efficacy of five techniques for removing root filling material: microscopic versus radiographic evaluation. *Int Endod J* 45, 35-41 (2012)
65. Kopper PM, Figueiredo JA, Della Bona A, Vanni JR, Bier CA, Bopp S: Comparative in vivo analysis of the sealing ability of three endodontic sealers in post-prepared root canals. *Int Endod J* 36, 857-363 (2003)
66. Ladley RW, Campbell AD, Hicks ML, Li SH: Effectiveness of halothane used with ultrasonic or hand instrumentation to remove gutta-percha from the root canal. *J Endod* 17, 221-224 (1991)
67. Love RM, Jenkinson HF: Invasion of dentinal tubules by oral bacteria. *Crit Rev Oral Biol Med* 13, 171-183 (2002)
68. Ma J, Al-Ashaw AJ, Shen Y, Gao Y, Yang Y, Zhang C, Haapasalo M: Efficacy of ProTaper Universal Rotary Retreatment system for gutta-percha removal from oval root canals: a micro-computed tomography study. *J Endod* 38,1516-1520 (2012)
69. Marfisi K, Mercade M, Plotino G, Duran-Sindreu F, Bueno R, Roig M: Efficacy of three different rotary files to remove gutta-percha and Resilon from root canals. *Int Endod J* 43, 1022-1028 (2010)
70. Masiero AV, Barletta FB: Effectiveness of different techniques for removing gutta-percha during retreatment. *Int Endod J* 38, 2-7 (2005)

71. Molander A, Reit C, Dahlén G, Kvist T: Microbiological status of root-filled teeth with apical periodontitis. *Int Endod J* 31, 1-7 (1998)
72. Mollo A, Botti G, Principi Goldoni N, Randellini E, Paragliola R, Chazine M, Ounsi HF, Grandini S: Efficacy of two Ni-Ti systems and hand files for removing gutta-percha from root canals. *Int Endod J* 45,1-6 (2012)
73. Nair PN: Pathobiology of the periapex. In Cohen S, Burns RC: *Pathway of the pulp*. 8th ed. St. Louis: Mosby, Inc., 472-500 (2002)
74. Nunes VH, Silva RG, Alfredo E, Sousa-Neto MD, Silva-Sousa YT: Adhesion of Epiphany and AH Plus sealers to human root dentin treated with different solutions. *Braz Dent J* 19, 46-50 (2008)
75. Pascon FM, Kantovitz KR, Sacramento PA, Nobre-dos-Santos M, Puppini-Rontani RM: Effect of sodium hypochlorite on dentine mechanical properties. A review. *J Dent* 37, 903-908 (2009)
76. Pereira Cda C, de Oliveira EP, Gomes MS, Della-Bona A, Vanni JR, Kopper PM, de Figueiredo JA: Comparative in vivo analysis of the sealing ability of three endodontic sealers in dog teeth after post-space preparation. *Aust Endod J* 33, 101-106 (2007)
77. Pirani C, Pelliccioni GA, Marchionni S, Montebugnoli L, Piana G, Prati C: Effectiveness of three different retreatment techniques in canals filled with compacted gutta-percha or Thermafil: a scanning electron microscope study. *J Endod* 35, 1433-1440 (2009)
78. Reddy S, Neelakantan P, Saghiri MA, Lotfi M, Subbarao CV, Garcia-Godoy F, Gutmann JL: Removal of gutta-percha/zinc-oxide-eugenol sealer or gutta-percha/epoxy resin sealer from severely curved canals: an in vitro study. *Int J Dent* 541831 (2011)
79. Roggendorf MJ, Legner M, Ebert J, Fillery E, Frankenberger R, Friedman S: Micro-CT evaluation of residual material in canals filled with Activ GP or GuttaFlow following removal with NiTi instruments. *Int Endod J* 43, 200-209 (2010)

80. Saad AY, Al-Hadlaq SM, Al-Katheeri NH: Efficacy of two rotary NiTi instruments in the removal of gutta-percha during root canal retreatment. *J Endod* 33, 38-41 (2007)
81. Sae-Lim V, Rajamanickam I, Lim BK, Lee HL: Effectiveness of ProFile .04 taper rotary instruments in endodontic retreatment. *J Endod* 26, 100-104 (2000)
82. Salehrabi, Rotstein: Epidemiologic evaluation of the outcomes of orthograde endodontic retreatment. *J Endod* 36, 790-792 (2010)
83. Saunders WP, Saunders EM: Coronal leakage as a cause of failure in root-canal therapy: a review. *Endod Dent Traumatol* 10,105-108 (1994)
84. Scelza MF, Lima Oliveira LR, Carvalho FB, Côrte-Real Faria S: In vitro evaluation of macrophage viability after incubation in orange oil, eucalyptol, and chloroform. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 102, e24-27 (2006)
85. Scelza MF, Coil JM, Maciel AC, Oliveira LR, Scelza P: Comparative SEM evaluation of three solvents used in endodontic retreatment: an ex vivo study. *J Appl Oral Sci* 16, 24-29 (2008)
86. Schäfer E, Zandbiglari T: A comparison of the effectiveness of chloroform and eucalyptus oil in dissolving root canal sealers. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 93, 611-616 (2002)
87. Schilder H: Cleaning and shaping the root canal. *Dental Clinics North Am* 18, 269 (1974)
88. Schirrmeister JF, Hermanns P, Meyer KM, Goetz F, Hellwig E: Detectability of residual Epiphany and gutta-percha after root canal retreatment using a dental operating microscope and radiographs – an ex vivo study. *Int Endod J* 39, 558-565 (2006 a)
89. Schirrmeister JF, Meyer KM, Hermanns P, Altenburger MJ, Wrbas KT: Effectiveness of hand and rotary instrumentation for removing a new synthetic

- polymer-based root canal obturation material (Epiphany) during retreatment. *Int Endod J* 39, 150-156 (2006 b)
90. Schirrmeister JF, Wrbas KT, Meyer KM, Altenburger MJ, Hellwig E: Efficacy of different rotary instruments for gutta-percha removal in root canal retreatment. *JOE* 32, 469-472 (2006 c)
 91. Schirrmeister JF, Wrbas KT, Schneider FH, Altenburger MJ, Hellwig E: Effectiveness of a hand file and three nickel-titanium rotary instruments for removing gutta-percha in curved root canals during retreatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 101, 542-547 (2006 d)
 92. Sjogren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K: Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod* 16, 498-504 (1990)
 93. Smith CS, Setchell DJ, Harty FJ: Factors influencing the success of conventional root canal therapy - a five year retrospective study. *Int Endod J* 26, 321-333 (1993)
 94. Só MV, De Figueiredo JA, Freitas Fachin EV, Húngaro Duarte MA, Pereira JR, Kuga MC, Da Rosa RA: Clinical microscopic analysis of ProTaper retreatment system efficacy considering root canal thirds using three endodontic sealers, *Microsc Res Tech* 75:1233-1236 (2012)
 95. Somma F, Cammarota G, Plotino G, Grande NM, Pameijer CH: The effectiveness of manual and mechanical instrumentation for the retreatment of three different root canal filling materials. *J Endod* 34, 466-469 (2008)
 96. Stabholz A, Friedman S: Endodontic retreatment – Case selection and technique. Part 2: Treatment planning for retreatment, *J Endod* 14, 607-614 (1988)
 97. Stellungnahme der DGZMK und der DGZ: Wurzelkanalaufbereitung. *Dtsch Zahnärztl Z* 55, 9 (2000)
 98. Stellungnahme der DGZMK: WK-Füllpasten und -füllstifte. *Dtsch Zahnärztl Z* 55, 9 (2000)

99. Stellungnahme der DGZMK und der DGZ: Revision einer Wurzelkanalbehandlung. Dtsch Zahnärztl Z 59 (2004)
100. Sundqvist G, Figdor D, Persson S, Sjögren U: Microbiologic analysis of teeth with failed endodontic treatment and the outcome of conservative re-treatment. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 85, 86-93 (1998)
101. Tachinami H, Katsuumi I: Removal of root canal filling materials using Er:YAG laser irradiation. Dent Mater J 29, 246-252 (2010)
102. Takahashi CM, Cunha RS, de Martin AS, Fontana CE, Silveira CF, da Silveira Bueno CE: In vitro evaluation of the effectiveness of ProTaper universal rotary retreatment system for gutta-percha removal with or without a solvent. J Endod 35, 1580-1583 (2009)
103. Tamse A, Unger U, Metzger Z, Rosenberg M. Gutta-percha solvents – a comparative study. J Endod 12, 337-339 (1986)
104. Tasdemir T, Yildirim T, Celik D: Efficacy of three rotary NiTi instruments in removing gutta-percha from root-canals. Int Endod J 41, 191-196 (2008)
105. Torabinejad M, Ung B, Kettering JD: In vitro bacterial penetration of coronally unsealed endodontically treated teeth. J Endod 16, 566-569 (1990)
106. Torabinejad M, Corr R, Handysides R, Shabahang S: Outcomes of nonsurgical retreatment and endodontic surgery: a systematic review. J Endod 35, 930-937 (2009)
107. Unal GC, Maden M, Savgat A, Onur Orhan E: Comparative investigation of two rotary Nickel-titanium instruments: Protaper universal versus Protaper. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 107, 886-892 (2009)
108. Wennberg A, Ørstavik D: Evaluation of alternatives to chloroform in endodontic practice. Endod Dent Traumatol 5, 234-237 (1989)

109. Zakariasen KL, Brayton SM, Collinson DM: Efficient and effective root canal retreatment without chloroform. *J Can Dent Assoc* 56, 509-512 (1990)
110. Zanettini PR, Barletta FB, de Mello Rahde N: In vitro comparison of different reciprocating systems used during endodontic retreatment. *Aust Endod J* 34, 80-85 (2008)
111. Zmener O, Pameijer CH, Banegas G: Retreatment efficacy of hand versus automated instrumentation in oval-shaped root canals: an ex vivo study. *Int Endod J* 39, 521-526 (2006)

12 Anhang

12.1 Abkürzungen

EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
NaOCl	Natriumhypochlorit
NaCl	Natriumchlorid
H ₂ O ₂	Wasserstoffperoxid
CHX	Chlorhexidin
ISO	International Organization of Standardization
AMF	Apikale Masterfeile
MP	Masterpoint
WF	Wurzelkanalfüllung, Obturation
AL	Arbeitslänge
LEO	Lesion of Endodontic Origin
NiTi	Nickel-Titan-Legierung
DOM	Dental Operating Microscope
VDW	Vereinigte Dentalwerke
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund-, Kieferheilkunde
Abb.	Abbildung
Tab.	Tabelle
U	Umdrehung
U x min ⁻¹	Umdrehungen pro Minute
OpM	Oszillationen pro Minute
cpm	circulations per minute

PRCS	Percentage of Residue-coated Canal Surface
mm	Millimeter
s	Sekunde
min	Minute
p	Signifikanzwert

12.2 Materialien

Diamantierte Trennscheiben LOT 577010 ISO806104	Hager & Meisinger GmbH, Neuss,
Trepanationsdiamant	Uniklinikum Marburg
Skalpell	Uniklinikum Marburg
Universal-Scaler	Uniklinikum Marburg
Thymol 0,1%	Uniklinikum Marburg
Endoblöcke ISO 25/.06, ISO 40/.06	VDW GmbH, München

Kanalaufbereitungsinstrumente:

M_{two} -Feilen	VDW GmbH, München
Gates-Glidden-Bohrer LOT 028013	VDW GmbH, München
Grünes Winkelstück	KaVo GmbH, Biberach

Blaues Winkelstück	KaVo GmbH, Biberach
Glasplatte	Uniklinikum Marburg
Zementspatel	Uniklinikum Marburg
Heidemann-Spatel	Uniklinikum Marburg
Kugelstopfer	Uniklinikum Marburg
<i>C-Pilot</i> -Feilen #06, #08, #10, #15	VDW GmbH, München
Reamer K #20, #30, #35	VDW GmbH, München
Rotes Winkelstück	KaVo GmbH, Biberach
Verifier #20, #30, #35	Dentsply Maillefer, Ballaignes, Schweiz
Spreader #25 LOT 0910001174	VDW GmbH, München
Lentulo #25	VDW GmbH, München
<i>Tetric Flow</i>	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein
Polymerisationslampe <i>Elipar Visio</i> (250 mW)	3M ESPE, Seefeld
KaVo <i>FINEair</i>	KaVo Dental GmbH, Biberach
<i>AH Plus</i> Wurzelkanalfüllmaterial LOT 0912000739	Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz

<i>GuttaFlow</i>	Coltène Whaledent, Langenau
Guttapercha .02/#40 LOT 264810	Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz
Guttapercha .02/#25 LOT 265159, 265158	Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz
EDTA-Spüllösung (17%)	Universitätsklinikum Marburg
Natriumhypochlorit (2,5%)	Universitätsklinikum Marburg
Paper Points .02/#40 und .02/#35	Antaeos, München
Silberstifte	Antaeos, München
Silaplast	Detax, Ettlingen
Tiefziehfolie	Uniklinik Marburg
<i>Ketac</i>	Uniklinik Marburg
Stoppuhr	HTC, Taipeh, Taiwan

Revisionsfeilen:

<i>D-RaCe</i> DR1.10/#30 LOT 16975	FKG-Dentaire La-Chaux-de-Fonds, Schweiz
DR2.04/#25 LOT 16975	FKG Dentaire La-Chaux-de-Fonds, Schweiz

<i>BioRaCe</i> 5 Größe .04/#40 LOT 16510	FKG Dentaire La-Chaux-de-Fonds, Schweiz
<i>M_{two}</i> -Retreatment files	VDW GmbH, München
<i>EndoExpress</i>	Loser GmbH, Leverkusen
<i>EndoActivator</i>	Dentsply Tulsa, Tulsa, OK, USA
Eukalyptusöl	Universitätsklinikum Marburg
Stereo-Lichtmikroskop	Leica Microsystems GmbH, Wetzlar
<i>Leica Application Suite</i> (LAS)	Leica Microsystems GmbH, Wetzlar
<i>Microsoft Excel</i>	Microsoft Corp., Redmond, WA, USA
Bildauswertungssoftware	Leica QWin, Leica Microsystems, Wetzlar
Statistisches Auswertungsprogramm	SSPS 20.0, IBM Inc., Armonk, NY, USA

12.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 a:	Vorbereitung der Proben
Abbildung 1 b:	Revisionsschritt 1 mit jeweils einer Gruppe mit und einer Gruppe ohne Lösungsmittelzusatz pro Feilensystem
Abbildung 1 c:	Revisionsschritt 2 – Aktivierung von Eukalyptusöl mit dem <i>EndoActivator</i> oder Aktivierung ohne Lösungsmittel mit dem <i>EndoExpress</i> -Handstück und einer K-Feile
Abbildung 2:	<i>Mtwo</i> -Revisionsfeilen .05/#25 (unten) und .05/#15 (oben)
Abbildung 3:	<i>D-RaCe</i> -System <i>DR-1</i> (unten) und <i>DR-2</i> (oben)
Abbildung 4:	Trennen eines Zahnes mit der Diamanttrennscheibe
Abbildung 5 a, b, c:	Repositionsschablone (Tiefziehfolie) mit reponiertem Zahn in Ansicht von apikal (a) und von koronal (b), Reposition der Wurzelhälften mit <i>TetricFlow</i> (c)
Abbildung 6:	<i>EndoActivator</i> mit Ansatz
Abbildung 7:	<i>EndoExpress</i> -Handstück
Abbildung 8:	Probe aus Gruppe 1 (<i>Mtwo</i> -Feilen ohne Lösungsmittel) nach Revisionsschritt 1 (links) und 2 (rechts)

- Abbildung 9:** Probe aus Gruppe 2 (M_{two} -Feilen mit Eukalyptusöl) nach Revisionsschritt 1 (links) und 2 (rechts)
- Abbildung 10:** Probe aus Gruppe 3 (D -RaCe ohne Lösungsmittel) nach Revisionsschritt 1 (links) und 2 (rechts)
- Abbildung 11:** Probe aus Gruppe 4 (D -RaCe mit Lösungsmittel) nach Revisionsschritt 1 (links) und 2 (rechts)
- Abbildung 12:** Dauer der einzelnen Revisionsschritte im Gruppenvergleich
- Abbildung 13:** Wurzelfüllreste in den Wurzelkanaldritteln nach dem ersten Revisionsschritt im Gruppenvergleich
- Abbildung 14:** Wurzelfüllreste in den Wurzelkanaldritteln nach Aktivierung (Revisionsschritt 2) im Gruppenvergleich
- Abbildung 15:** Wurzelfüllreste im Gesamtkanal nach dem ersten und zweiten Revisionsschritt im Gruppenvergleich

12.4 Statistik

Gruppe	Schritt	Mittelwert (s)	SD (s)	Median (s)	Minimum (s)	Maximum (s)	Interquartils- abstand (s)
Revisionszeiten vor Aktivierung, nach Revision der Wurzelkanalfüllung							
1	Erreichen der AL	74	34	70	27	152	13
	Instrumentierungszeit	291	123	242	169	631	174
	Gesamtrevisionszeit	558	155	522	361	980	208
2	Erreichen der AL	63	50	56	15	209	67
	Instrumentierungszeit	227	84	211	129	435	92
	Gesamtrevisionszeit	533	104	497	387	745	125
3	Erreichen der AL	107	58	100	37	268	64
	Instrumentierungszeit	223	84	222	113	480	95
	Gesamtrevisionszeit	480	70	481	367	654	68
4	Erreichen der AL	139	48	117	75	220	90
	Instrumentierungszeit	228	67	226	114	267	92
	Gesamtrevisionszeit	539	111	538	378	698	194

Erreichen der Arbeitslänge: ANOVA, $p=0,000^*$

Instrumentierungszeit: ANOVA, $p=0,144$

Gesamtrevisionszeit: ANOVA, $p=0,282$

Gruppe	Kanal-region	Mittelwert (%)*	SD (%)**	Median (%)	Minimum (%)	Maximum (%)	Interquartils-abstand (%)
Schritt 1: Wurzelkanalfüllmaterialreste vor Aktivierung, nach Revision der Wurzelkanalfüllung							
1	apikal	35,55	20,37	34,98	0,00	71,68	34,32
	mittig	29,50	19,21	21,48	6,12	78,21	26,05
	koronal	31,65	26,24	23,65	1,79	85,08	43,94
	gesamt	30,03	18,92	35,41	5,76	77,96	28,34
2	apikal	51,63	23,95	53,52	10,52	100,00	35,32
	mittig	32,95	28,20	21,77	0,00	100,00	41,34
	koronal	26,70	20,84	24,75	0,00	70,50	35,71
	gesamt	33,61	20,15	30,95	6,52	70,26	31,78
3	apikal	42,82	28,36	44,46	0,00	84,82	53,73
	mittig	38,88	32,58	31,54	0,00	100,00	54,53
	koronal	30,06	21,39	30,81	0,95	68,75	39,42
	gesamt	34,75	26,24	24,31	0,00	70,93	52,63
4	apikal	50,70	22,09	49,19	22,11	100,00	33,21
	mittig	55,79	25,60	53,79	5,40	100,00	27,10
	koronal	49,80	25,60	49,55	8,99	100,00	44,47
	gesamt	52,84	21,20	48,19	15,94	94,44	25,87

Wurzelkanalfüllmaterialreste: apikal: $p=0,174$, mittig: $p=0,046^*$, koronal: $p=0,044^*$, gesamt: $p=0,027^*$

Schritt 2: Wurzelkanalfüllmaterialreste nach Aktivierung mit resp. ohne Lösungsmittel							
1	apikal	11,49	12,11	9,96	0,00	35,10	19,03
	mittig	9,74	8,55	6,83	0,14	28,18	14,04
	koronal	8,28	12,17	1,28	0,00	34,89	14,40
	gesamt	9,17	7,46	7,45	0,22	29,64	9,21
2	apikal	10,12	10,87	6,96	0,00	37,78	17,08
	mittig	8,46	8,13	8,46	0,00	31,51	10,37
	koronal	8,01	8,29	5,42	0,00	28,35	11,92
	gesamt	8,66	6,36	8,22	0,35	22,88	7,32
3	apikal	8,98	11,42	2,75	0,00	37,51	20,15
	mittig	9,28	9,45	6,05	0,00	31,72	12,19
	koronal	6,47	9,19	2,42	0,00	26,00	9,49
	gesamt	7,06	7,85	3,59	0,00	21,97	12,75
4	apikal	24,56	18,62	25,91	1,17	59,07	22,70
	mittig	23,56	13,29	26,02	2,61	41,41	26,07
	koronal	19,19	13,96	14,38	0,00	40,82	27,71
	gesamt	20,77	12,62	19,25	0,11	39,39	19,96

Wurzelkanalfüllmaterialreste (ANOVA): apikal: $p=0,009^*$, mittig: $p=0,000^*$, koronal: $p=0,01^*$, gesamt: $p=0,000^*$

12.6 Verzeichnis akademischer Lehrer

Meine akademischen Lehrer im Fachbereich Medizin der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen waren die Damen und Herren Professoren und Dozenten:

Albert, Bautz, Beckmann, Betz, Boegershausen, Drexler, Eichhorn, Frank, Frewer, Fromm, Gasteiger, Gessner, Haas, Hahn, Handwerker, Hohenberger, Iro, Kornhuber, Lechner, Lorz, Ludwig, Lütjen-Drecoll, Mang, Parsch, Radespiel-Tröger, Rascher, Reis, Rohen, Sauer, Schneider, Schuler, Schüttler, Schwab, Weih, Wittern-Sterzel

Meine akademischen Lehrer im Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg waren die Damen und Herren Professoren und Dozenten:

Arweiler, Frankenberger, Gente, Gloerfeld, Höffken, Korbmacher-Steiner, Lamp, Lotzmann, Mengel, Moll, Neff, Jablonski-Momeni, Pieper, Roggendorf, Schaudig

12.7 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Roland Frankenberger für die Möglichkeit dieser Dissertation und die Bereitstellung der notwendigen Utensilien.

Herrn OA Dr. Matthias J. Roggendorf danke ich für die überaus großzügige Unterstützung und das unermüdliche, weit über seine Aufgaben als Betreuer hinausgehende Engagement während der Erstellung dieser Arbeit. Danke für die freundliche Begleitung und die ambitionierte Hilfsbereitschaft.

Ein ganz großes Dankeschön gilt meiner Familie für ihre ausdauernde Motivation und die fachliche Unterstützung.

Des Weiteren möchte ich mich bei allen meinen Freunden und Kollegen, die an der Vorbereitung und Durchführung der Präsentation der Ergebnisse dieser Studie anlässlich der Jahrestagung der DGET 2012 beteiligt waren, für die gute Zusammenarbeit und gegenseitige Unterstützung bedanken.